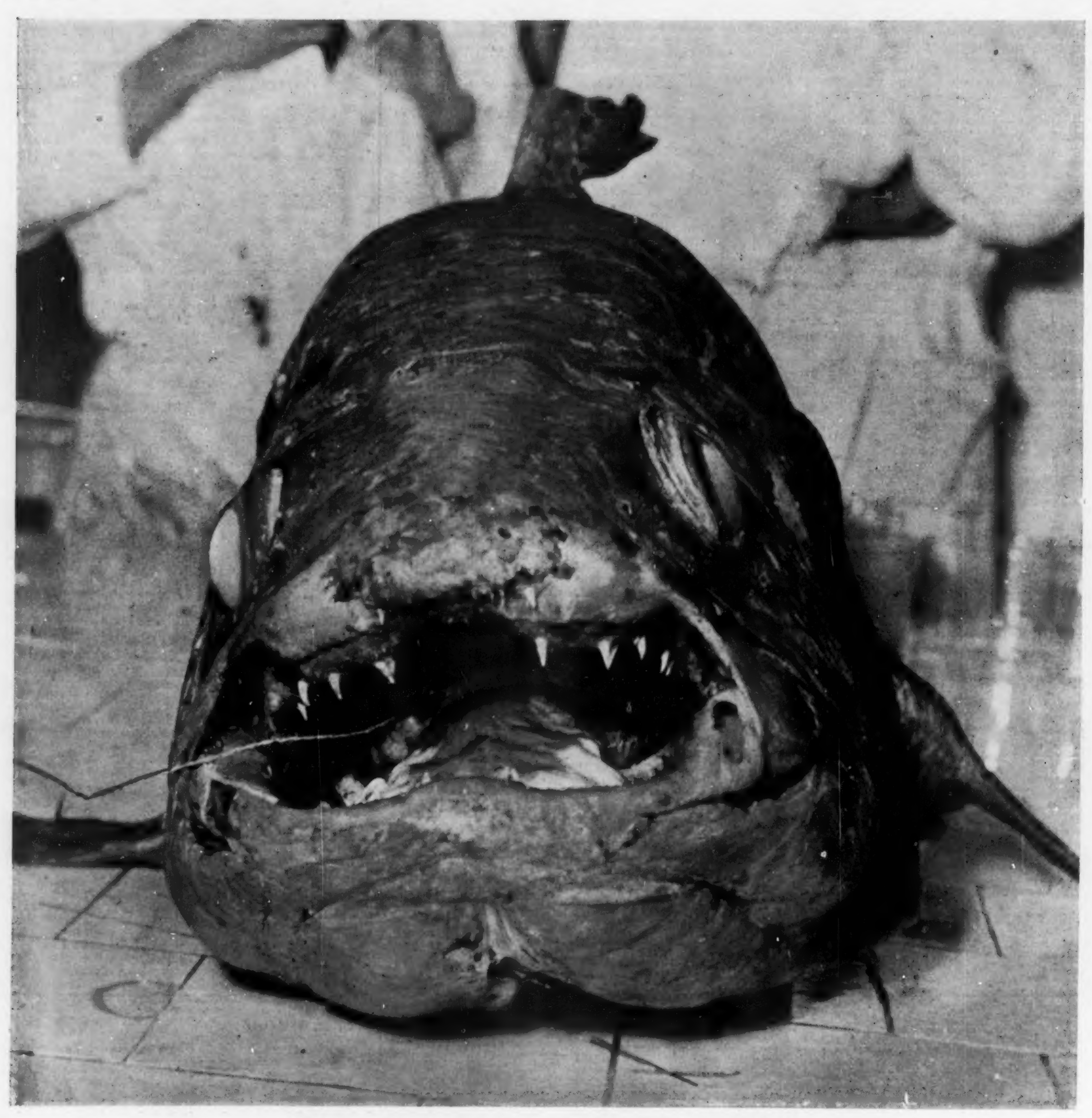
LA NATURE

REVUE DES SCIENCES ET DE LEURS APPLICATIONS



LES NOUVEAUX CŒLACANTHES

On voit encore, sortant de la bouche, l'extrémité de la ligne avec laquelle fut capturé cet exemplaire, photographié ici de face à l'Institut de recherche scientifique de Madagascar

(Photo Service général de l'Information de Madagascar).

N° 3228 – Avril 1954 Revue mensuelle Le Numéro : 200 francs

Actualités et informations

La consommation mondiale des métaux non ferreux

L'annuaire statistique publié par la Metallgesellschaft a donné une estimation de la consommation mondiale des métaux combinés suivants : aluminium, cuivre, plomb, étain et zinc. Voici, dans les principaux pays, quelle a été la consommation globale moyenne, en kilogrammes par tête d'habitant, pour les années 1951 et 1952 : États-Unis, 23,0 ; Canada, 21,6 ; Benelux, 20,9 ; Grande-Bretagne, 19,5 ; Suède, 17,2 ; France, 10,2 ; Allemagne de l'Ouest, 8,7 ; Union Sud-Africaine, 5,8 ; Russie, 4,0 ; Argentine, 3,4 ; Brésil, 1,1 ; Indes, 0,2.

*
* *

La mise au point d'une méthode de production de saphir synthétique en longues baguettes minces permet d'employer cette matière pour la réalisation des couteaux et plans de balances, en remplacement de l'agate utilisé presque exclusivement jusqu'ici. Le saphir synthétique n'a pas la tendance à absorber l'humidité que présente l'agate ; il est en outre plus dur et conserve plus longtemps que l'agate des arêtes vives. L'homogénéité du saphir empêche la formation de soufflures et autres imperfections dans la masse, sources de points de faiblesse.

*
* *

Une société américaine annonce la fabrication d'un produit (« Dow Corning XS-1 ») imperméable à l'eau pour une variété de matériaux organiques et inorganiques, tels que le papier, le bois, l'amiante, la brique, le ciment. Ce produit est utilisé en solution aqueuse, à diverses concentrations qui dépendent du matériau et du résultat désiré, et appliqué par les procédés habituels : dispersion, au pinceau, immersion ; il peut être également mélangé au matériau à traiter. L'application de deux couches de ce produit donne une imperméabilisation maximum après un séchage de 24 h à l'air. On mentionne également l'utilisation de ce produit comme stabilisateur des sols.

*
* *

Des expériences vont être poursuivies par l'Australian Scientific and Industrial Research Organisation pour tenter de produire des pluies artificielles dans les territoires du Nord de l'Australie.

SOMMAIRE

Une enquête entreprise par le docteur R. R. Suskind, professeur de dermatologie au College of Medecine de l'université de Cincinnati, a révélé qu'une crème contenant des silicones (polyméthylsiloxane) et de la bentonite, étendue sur les mains des ouvriers appelés à manipuler des produits irritants ou caustiques, réduit dans une grande mesure le développement des maladies de peau.

*
* *

Un procédé de galvanoplastie applicable aux pièces en magnésium permet d'utiliser ce métal dans de nombreux cas où l'on cherche une apparence extérieure plaisante sur des éléments légers, résistant à une certaine usure et à la corrosion : pièces d'avion, d'automobile, outils portatifs, etc. Il comporte un premier dépôt de zinc qui est ensuite revêtu par électrolyse d'une couche de cuivre.

*
* *

Depuis avril 1951, les Pays-Bas et la Norvège coopèrent étroitement dans le domaine des recherches en matière d'énergie nucléaire. Un des résultats de cette coopération a été l'installation à Kjeller, près d'Oslo, d'un réacteur nucléaire qui permet aux deux pays de poursuivre conjointement des expériences dans le domaine de la désintégration de la matière.

Revêtement céramique sur nickel

Les laboratoires d'Oak Ridge (USA) ont mis au point l'application d'un revêtement céramique sur le nickel. Ce résultat est particulièrement intéressant étant donné que l'emploi du nickel aux températures élevées est limité par suite de sa faible résistance à l'oxydation. Pour cette application, le nickel est d'abord recuit à 540° C en hydrogène mouillé ; un revêtement céramique spécial est ensuite appliqué par dispersion, revêtement qu'on laisse sécher avant cuisson. Des essais de durabilité en atmosphère oxydante durant 65 h à 815° C ont montré l'adhérence améliorée du revêtement.

*
* *

La Compagnie de raffinage Shell-Berre récupère maintenant le soufre des gaz de pétrole ; on estime qu'elle produira de 4 000 à 5 000 t en 1954, ce qui représente environ 10 pour 100 du soufre consommé par l'agriculture française. Le soufre produit à Berre sera acheminé vers Marseille où une usine spécialisée livrera les produits commerciaux utilisés pour le traitement des arbres fruitiers et des vignobles.

*
* *

A Hamilton, dans le Queensland (Australie), on termine l'installation d'une usine qui sera une des plus importantes du monde pour le conditionnement du beurre ; elle est équipée de dispositifs électroniques et livrera, sans qu'ils soient touchés par une main humaine, des paquets de beurre à la cadence de 400 livres par minute.

*
* *

L'U.N.E.S.C.O. vient de décider la création d'un comité consultatif international de la recherche scientifique. On envisage la réunion de conférences internationales auxquelles prendraient part des représentants des conseils ou centres nationaux de la recherche scientifique.

*
* *

Un réseau téléphonique moderne est en cours d'installation en Afrique du Sud, entre Pretoria et Johannesbourg. Il comportera un câble coaxial qui permettra de transmettre simultanément 1 920 communications téléphoniques.

LA NATURE

Revue mensuelle

DUNOD, Éditeur

92, rue Bonaparte, PARIS-6e

C. C. P. Paris 75-45 — Tél. DAN. 99-15

ABONNEMENTS 1954

France et Union fse : un an : 2 000 francs six mois : 1 000 francs

Etranger (sauf Belgique et Luxembourg) : un an : 2 500 francs six mois : 1 250 francs

Belgique et Luxembourg : un an : 325 f belges six mois : 163 f belges

Changement d'adresse : 30 F en timbres-poste français ou l'équivalent en monnaie étrangère

N° 3228 Avril 1954

LA NATURE

Les nouveaux Cœlacanthes

La Nature a publié à deux reprises (Un poisson mésozoïque vivant, *n° 3046, 1er avril 1939, p. 213 ;* Le Cœlacanthidé d'Anjouan, *n° 3215, mars 1953, p. 95) des notes de René Merle sur les premiers Cœlacanthes trouvés vivants, où furent rappelés les grands traits de la classification des Poissons et l'intérêt primordial des principaux groupes fossiles, particulièrement des Crossoptérygiens, pour l'histoire de l'évolution des Vertébrés. Le professeur Jacques Millot, directeur de l'Institut de recherche scientifique de Madagascar, qui a pris la part la plus active dans l'organisation des recherches ayant abouti à la possession de nouveaux Cœlacanthes et qui a pu en commencer une étude approfondie, ne reviendra pas ici sur ces notions ; il a bien voulu accepter de les compléter en apportant à nos lecteurs les premiers enseignements découlant de ces toutes récentes captures.*

★

On a fait dans les journaux de toute catégorie une suffisante publicité aux Cœlacanthes pour que chacun sache maintenant que ce nom désigne des Poissons archaïques d'un extrême intérêt remontant à la période dévonienne de l'ère primaire. On les croyait disparus de la façon la plus totale depuis soixante à soixante-dix millions d'années lorsque l'on eut, en 1938, l'extrême surprise d'apprendre la capture, dans les eaux de la côte occidentale du canal de Mozambique, d'un spécimen vivant. Celui-ci malheureusement, ayant déjà commencé à se décomposer, avait dû être naturalisé et n'était plus guère scientifiquement utilisable lorsqu'il put être identifié par le professeur Smith, spécialiste de la Rhodes University de Grahamstown. Malgré tous les efforts de M. Smith, il fallut attendre quatorze années pour retrouver un autre exemplaire au large de Domoni, petit port de l'île d'Anjouan dans l'archipel des Comores. L'ichtyologiste sud-africain, prévenu télégraphiquement, fit toute diligence mais ne put arriver que neuf jours après, pour trouver, cette fois encore, un poisson en très mauvaise condition.



Fig. 1. — *A l'arrivée du premier Cœlacanthe à l'Institut de recherche scientifique de Madagascar.*
Le professeur J. Millot procède aux premières mensurations.
(Photo Service général de l'Information de Madagascar).

Une organisation simple, mais efficace, de pêche et de conservation fut alors mise au point aux Comores par l'Administration supérieure française et par l'Institut de recherche scientifique de Madagascar. Le concours désintéressé des résidents européens, médecins et administrateurs en particulier, fut entièrement acquis ; les pêcheurs indigènes, objet d'une active propagande, reçurent personnellement toutes instructions utiles ; de fortes récompenses furent promises ; des dessins du poisson furent affichés dans tous les villages ; du matériel de conservation fut entreposé avec les conseils d'emploi nécessaires ; des moyens de transport rapide par avions spéciaux furent assurés.

Ces mesures, appliquées par tous avec un admirable dévouement, ont abouti au cours des derniers mois à la capture sensationnelle, l'un à Anjouan, les autres à la Grande Comore, de quatre nouveaux Cœlacanthes, les premiers en bon état, enrichissant la science française, et avec elle la science internationale, d'un capital zoologique incomparable.

Quels enseignements peut-on, dès maintenant, retirer de ces dernières prises ? Ils sont forcément limités, du fait que l'exploitation complète de ce précieux matériel nécessitera au moins plusieurs mois ; du fait aussi que

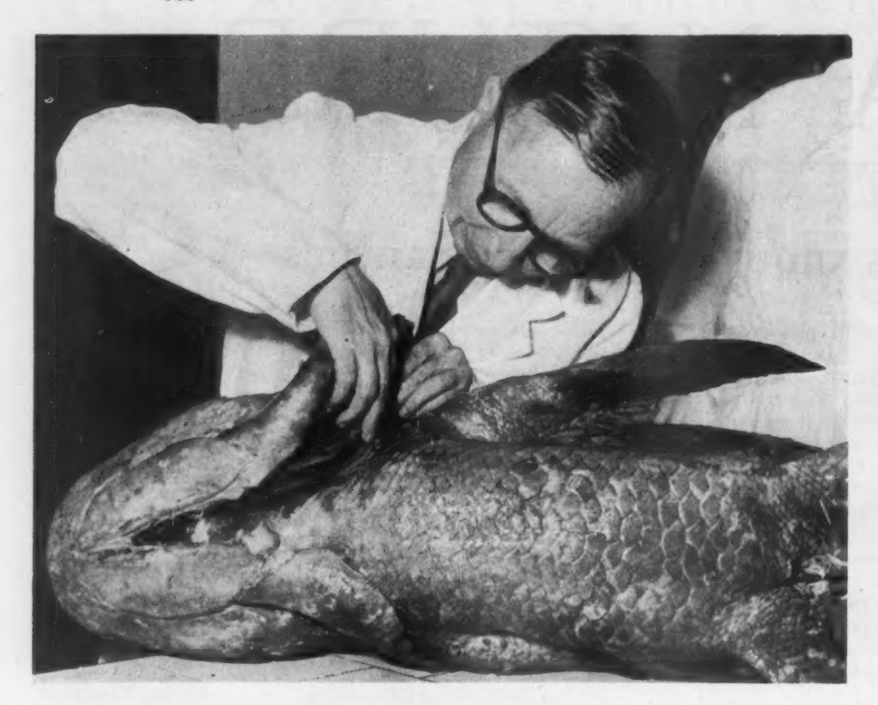


Fig. 2. — *Une recherche urgente : celle des parasites.*

Avant tout autre examen, M. Millot recueille les parasites fixés sur les branchies ; cette recherche, très importante à divers points de vue, ne saurait être ajournée, car les parasites peuvent être fugaces ou fragiles. On remarque bien sur cette photo la forme de la nageoire pectorale, son robuste pédoncule en « moignon de membre ». A droite, la naissance des nageoires pelviennes.

(*Photo Service général de l'Information de Madagascar*).

les recherches océanographiques capables d'éclairer la vie des Cœlacanthes impliquent des moyens matériels importants, qui n'existaient pas encore dans cette région de l'Océan Indien et ne seront réunis que dans le courant de cette année. Un certain nombre de conclusions ou de réflexions peuvent, du moins, être exposées ici.

1) La région du nord du canal de Mozambique peut être désormais considérée en toute certitude comme le refuge actuel de ces derniers des Crossoptérygiens [1]. Il s'agit là d'une des mers les plus intéressantes, mais aussi les moins connues du globe : ce fait, joint à leur vie retirée, explique que, jusqu'à ces dernières années, l'existence de ces « fossiles vivants » soit restée complètement insoupçonnée.

2) Les récentes captures ne doivent pas faire illusion et tendre à faire croire à une relative abondance des Cœlacanthes. Elles résultent, en effet, d'une propagande intensive et d'une véritable mobilisation, consécutive aux primes promises, des pêcheurs comoriens, pour qui le Cœlacanthe est devenu « le Poisson » qu'il faut avant tout rechercher. Nous pouvons être assurés pour l'avenir d'autres prises, mais il ne faut pas escompter que leur nombre dépasse deux à trois par an, tant que les conditions de vie actuelles de ces reliques du passé n'auront pu être précisées.

3) Les Cœlacanthes sont des carnivores ichtyophages. Leur nourriture consiste en poissons de petite taille, de quelques centimètres seulement parfois.

4) Les Cœlacanthes sont des poissons de profondeur. C'est par erreur que le premier individu d'Anjouan a été indiqué comme ayant été pris à 15 m : c'est en réalité à 160 m qu'il fut pêché. Mais ce ne sont pas des animaux de très grande profondeur, comme le prouvent leurs formes robustes et le fait qu'ils peuvent survivre quelque temps (jusqu'à trois heures et demie) après leur sortie de l'eau, ce qui ne saurait se concevoir d'un véritable poisson abyssal.

5) Les Cœlacanthes, qui évoquent par leur aspect général les gros poissons de rochers, Cabots ou Mérous, ont vraisemblablement un genre de vie analogue à ceux-ci. Peut-être leurs nageoires pédonculées les aident-elles à ramper à demi sur les rochers du fond, mais nous ne pouvons encore que le supposer dubitativement. On les prend, en tout cas, sur des fonds basaltiques anfractueux à forte pente, entre 150 et 400 m de profondeur, sur lesquels il est impossible de faire passer un chalut. On en est donc réduit à la pêche à la ligne de profondeur, que les Comoriens manient d'ailleurs avec beaucoup d'habileté, la nuit, sur de simples pirogues à balancier.

6) Les observations océanographiques faites jusqu'à présent indiquent que les Cœlacanthes se montrent insensibles, ou tout au moins peu sensibles, aux variations des courants et de la température de l'eau, ainsi qu'aux influences de la lune ou de la marée. Ils semblent, physiologiquement aussi bien que morphologiquement, fort « rustiques ». Cette qualité a sans doute grandement contribué à leur survie au cours des millénaires.

7) Les Cœlacanthes sont des poissons relativement grands, mesurant de 1,30 m à 1,60 m de longueur, pesant à l'état adulte de 35 à 60 kg. Ils sont fortement écailleux, massifs, d'une ligne peu élégante, avec une queue mal différenciée du corps. Ils pourraient paraître assez banaux aux profanes qui ne jetteraient sur eux qu'un coup d'œil superficiel, mais il n'est pas besoin de les observer de très près pour découvrir certains des caractères hautement originaux qui font d'eux des êtres uniques dans le monde actuel, telles leurs nageoires pédonculées, montées sur des sortes de moignons de membres, dont l'anatomie en cours d'étude se révèle forf complexe.

Mais quelle valeur exceptionnelle ces poissons « lourds, sales et visqueux » présentent-ils au juste, du point de vue scientifique, pour que leur découverte ait pu être considérée comme « l'événement le plus sensationnel du vingtième siècle en matière d'histoire naturelle » et qu'une grande expédition internationale ait été projetée pour les rechercher ?

Cette valeur est triple. Elle découle directement :

— de la très grande ancienneté des Cœlacanthes ; celle-ci remonte à la période dévonienne, au milieu de

1. Quelques espèces actuelles des eaux douces tropicales, comme les Polyptères, ont d'abord été incluses dans les Crossoptérygiens ; on a reconnu qu'elles devaient former un groupe spécial.

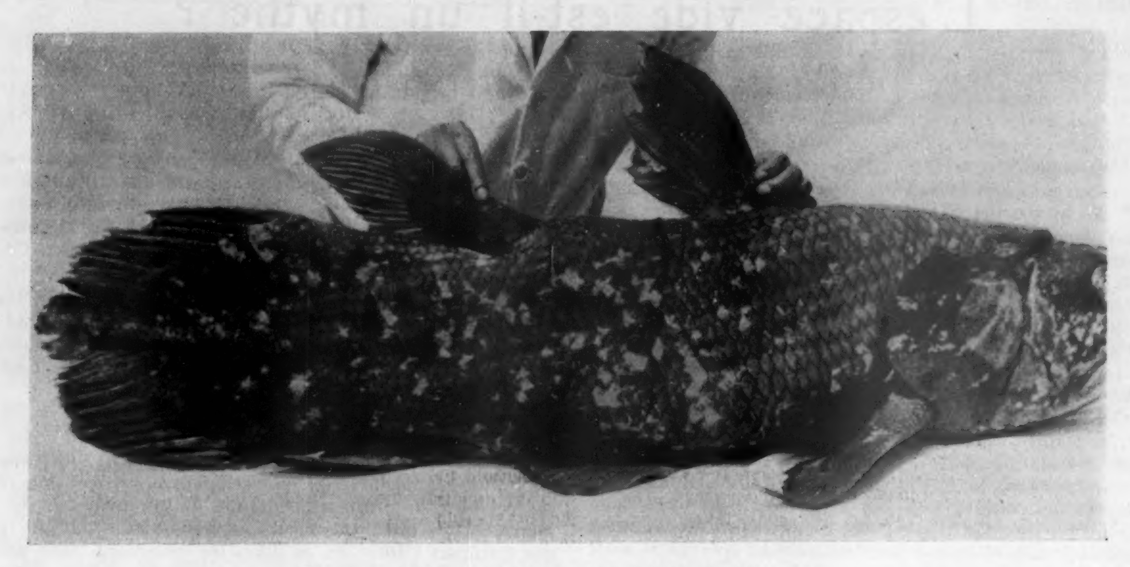


Fig. 3. — *Quelques caractéristiques extérieures du Cœlacanthe.*
On remarque la différence des deux nageoires dorsales : la première, à droite, est du type de celles des Téléostéens (majorité des poissons actuels) ; la seconde, nettement pédonculée, est caractéristique des Crossoptérygiens ; on remarque aussi la forme spéciale de l'opercule qui recouvre les branchies, et la queue mal différenciée du corps (*Photo* J. Millot).

l'ère primaire. De ce seul point de vue déjà, ce sont les plus intéressants Vertébrés actuellement existants ;

— de leur remarquable stabilité : alors que le monde vivant se transformait profondément autour d'eux, les Cœlacanthes contemporains sont restés identiques, par tous leurs caractères extérieurs essentiels, aux fossiles reconstitués par les paléontologistes d'après les empreintes laissées dans les couches géologiques, depuis le vieux grès rouge jusqu'au Crétacé ;

— du fait qu'ils se sont stabilisés à un stade particulièrement instructif de l'histoire des animaux supérieurs. Ce sont les seuls survivants du grand groupe synthétique des Crossoptérygiens, groupe clé d'où dérivent à la fois la majeure partie des autres Poissons actuels et toute l'immense lignée des Vertébrés aériens jusqu'à l'Homme.

S'il ne saurait être question que les Cœlacanthes soient, comme certains l'ont proclamé un peu hâtivement, de nos ancêtres directs, ils sont du moins directement apparentés à ces ancêtres. Ils nous permettent de saisir sur le vif une étape essentielle de l'évolution animale et nous livrent intact un type d'organisation primitive de Vertébrés d'un exceptionnel intérêt.

Leurs particularités, pour être pleinement mises en valeur, nécessiteront la collaboration de multiples spécialistes et quelques spécimens complémentaires. Il serait indispensable en particulier de pouvoir disposer d'une femelle en état de reproduction et de très jeunes sujets. Un premier volume d'information générale, consacré à l'aspect extérieur de ces Poissons, et richement illustré, paraîtra incessamment (1). Il sera suivi de trois volumes d'ici la fin de l'année : l'un consacré aux nageoires des Cœlacanthes ; le suivant aux viscères ; le dernier au squelette et à la musculature de la tête et du tronc.

Entre temps une « Exposition du Cœlacanthe » se sera tenue au Muséum d'Histoire Naturelle de Paris, depuis le 15 mars jusqu'au 2 mai prochain : le public aura pu y voir les spécimens eux-mêmes ainsi que d'instructifs documents concernant les Poissons fossiles et leur signification.

J. Millot,
Professeur au Muséum,
Directeur de l'Institut de recherche scientifique de Madagascar.

Fig. 4. — *Les écailles du Cœlacanthe.*
Détail des écailles sur la face latérale gauche avant la région caudale ; à droite (côté de la queue) une règle transparente, graduée en millimètres, donne l'échelle ; les écailles sont ponctuées de petits tubercules émaillés ; on voit l'une des taches claires qui parsèment, assez irrégulièrement, le dos, les flancs et la queue du poisson (*Photo* M. Pitot de la Beaujardière).

1. Supplément aux *Mémoires de l'Institut de recherche scientifique de Madagascar*, série A, Tananarive.

L'espace vide est-il un mythe ?

1. La matière interstellaire

L'expression « le vide de l'espace intersidéral » était souvent employée dans les ouvrages d'astronomie du siècle dernier. On la rencontre bien moins souvent dans ceux de notre siècle. Une telle expression est pourtant toujours justifiée dans un sens relatif, si nous la considérons en fonction de notre expérience journalière ou même par rapport à nos meilleurs vides de laboratoire. Mais il a fallu renoncer à l'employer dans un sens strict et absolu et abandonner l'idée que l'espace entre les astres constitue cette espèce de perfection dans le néant que constituerait un espace rigoureusement vide de matière.

L'idée que l'espace *interplanétaire* est parfaitement vide a été abandonnée dans le courant du XIX[e] siècle. La notion d'un vide absolu dans l'espace *interstellaire* a dû céder au progrès des observations il y a déjà un quart de siècle. Ce fut dès lors dans les espaces gigantesques séparant les galaxies, dans l'espace *intergalactique*, que l'on avait pensé trouver un dernier et inviolable refuge pour ce vide idéal de l'espace. Les travaux de ces dernières années ont porté à cet ultime vestige d'une illusion tenace des coups qui semblent bien devoir être décisifs.

De la Terre à l'Espace. — La notion du vide de l'espace cosmique s'est imposée d'abord par l'étude du mouvement des astres. La régularité et la permanence de ce mouvement exigent l'absence de milieu matériel résistant dans l'espace où ils se meuvent.

L'air atmosphérique contient au voisinage du niveau de la mer quelque 27 milliards de milliards de molécules (27.10^{18}) par centimètre cube. La résistance qu'il oppose au mouvement d'un véhicule rapide ou d'un projectile est considérable. Cette résistance de l'air croît rapidement avec la vitesse et les planètes se déplacent à des vitesses de plusieurs kilomètres ou dizaines de kilomètres par seconde. A de pareilles vitesses un milieu gazeux tel que l'air ambiant se comporterait comme un blindage impénétrable.

Les mesures faites en ballon libre et en ballon-sonde indiquent que, comparée à ce qu'elle est au niveau de la mer, la pression atmosphérique est réduite au dixième à une altitude de 17 km environ, au centième vers 35 km, au millième vers 52 km, etc. Les mesures faites à l'aide de fusées indiquent vers 100 km d'altitude une pression un million de fois moindre qu'au sol. A cette altitude l'air contient encore quelque 27 mille milliards (27.10^{12}) de molécules par centimètre cube. Il exerce une résistance si considérable aux projectiles à grande vitesse que constituent les météores que ceux-ci sont généralement volatilisés aux environs de cette altitude.

Aux altitudes supérieures la densité de l'air continue à décroître ; c'est le domaine des couches ionisées, de la luminescence du ciel nocturne et des aurores polaires. La densité de ces couches élevées n'est pas directement connue, mais elle peut être estimée indirectement par l'étude des phénomènes qui s'y produisent. D'après l'astrophysicien américain L. Spitzer, le nombre de particules vers 300 km d'altitude serait encore de l'ordre du milliard par centimètre cube. Au-dessus s'étend la zone de transition avec l'espace interplanétaire, dite « exosphère » parce que les molécules individuelles peuvent y échapper à l'attraction terrestre et s'évader vers l'espace. Des traces de gaz existent encore vers 700 et même 1 000 km d'altitude, parfois faiblement illuminées par des lueurs aurorales. Au delà, l'atmosphère terrestre ne se manifeste plus et l'on atteint le « vide » de l'espace interplanétaire.

L'espace interplanétaire. — En dehors des planètes principales et de leurs satellites, le système solaire comprend une foule d'astres secondaires et d'objets de toutes dimensions constituant un milieu diffus ambiant baignant tout le système.

Les « petites planètes » sont les plus volumineux de ces astres secondaires. Plus de 1 500 sont actuellement recensées et leur nombre s'accroît sans cesse ; mais alors que les premières découvertes concernaient des astres encore respectables, de plusieurs centaines de kilomètres de diamètre, celles que l'on décèle actuellement n'ont guère que quelques kilomètres de diamètre seulement. Sans nul doute une armée invisible et innombrable de ces corps accompagne les plus gros déjà connus et il n'y a aucune raison pour qu'il existe une limite inférieure à leurs dimensions. Celles-ci doivent insensiblement rejoindre celles des poussières cosmiques que la Terre balaye journellement dans sa course : les étoiles filantes.

Le nombre des petites planètes accessibles à nos moyens d'observation actuels est déjà énorme ; d'après une estimation de l'astronome W. Baade, par exemple, le nombre des petites planètes plus brillantes que la 19[e] grandeur stellaire et photographiables avec le télescope de 2,50 m de l'observatoire du Mont Wilson serait de l'ordre de 30 000 à 40 000.

Quant au nombre des météorites et micro-météorites qui sillonnent l'espace au voisinage de l'orbite terrestre, il peut être estimé soit à partir du nombre d'étoiles filantes observées, soit à partir du nombre de résidus météoritiques recueillis à la surface du sol. D'après des estimations déjà anciennes les étoiles filantes visibles apportent peut-être une dizaine de tonnes de matières par jour sur toute la Terre ; mais des travaux récents sur les poussières météoriques indiquent des valeurs beaucoup plus élevées, jusqu'à près de 10 000 t par jour. Ces deux évaluations ne sont pas nécessairement contradictoires, car elles ne se rapportent pas au même type de poussières ; elles indiquent tout de même le caractère encore très approximatif de notre information.

Un autre indice, connu depuis longtemps, de l'existence de matière diffuse dans l'espace interplanétaire est la Lumière zodiacale. Cette douce lueur allongée suivant le Zodiaque et que l'on peut apercevoir (loin des villes) le soir après le crépuscule ou le matin avant l'aube (fig. 1) est l'indice d'un milieu raréfié diffusant faiblement la lumière solaire au voisinage du plan moyen du système solaire. En fait la Terre est immergée dans cet amas lenticulaire de matière, car la Lumière zodiacale peut être suivie tout au long de l'Ecliptique, formant une très faible bande continue tout autour du ciel, la Bande zodiacale, que l'on peut détecter par des mesures photométriques précises et même apercevoir à l'œil nu lorsque les circonstances sont favorables. En Australie, en particulier, la Bande zodiacale peut être aperçue sans difficulté de façon quasi permanente.

A l'opposé du Soleil la Bande zodiacale s'élargit et

s'intensifie pour constituer la Lueur anti-solaire ou « Gegenschein » qui apparaît comme un amas diffus de lumière d'une dizaine de degrés de diamètre centré sur l'écliptique à 180 degrés du Soleil (fig. 2).

Ces apparences, longtemps considérées comme quelque peu mystérieuses, paraissent pouvoir s'expliquer simplement par l'existence d'un nuage de poussières et sans doute aussi d'électrons libres provenant du Soleil, qui diffusent sa lumière. D'après une étude récente des astronomes allemands Behr et Siedentopf, travaillant à la station suisse du Jungfraujoch, la densité électronique dans l'espace interplanétaire au voisinage de la Terre serait de l'ordre de 600 électrons par centimètre cube ; pour que le milieu reste électriquement neutre il faut admettre la présence invisible d'un nombre égal de protons (noyaux d'hydrogène), ce qui conduit à une densité de matière de quelque 10^{-21} g/cm^3. Quant aux particules de poussière il faudrait leur attribuer un diamètre moyen de quelques millièmes de millimètre et une densité totale de l'ordre du centième seulement de celle formée par les atomes isolés. Ces résultats concordent remarquablement avec ceux auxquels conduit l'étude de la matière interstellaire que nous examinons plus loin.

La densité de matière diffuse dans l'espace interplanétaire décroît des régions voisines du Soleil vers l'extérieur. Mais l'existence de matière dans les régions lointaines du système est attestée par les comètes qui viennent de temps à autre nous visiter et par les courants météoriques qui proviennent de leur désagrégation. Enfin l'éjection d'atomes, animés de grandes vitesses, par le Soleil est établie tant par l'observation directe de certaines protubérances éruptives dont la vitesse d'ascension dépasse parfois la vitesse de libération du champ d'attraction solaire que par les phénomènes terrestres, aurores polaires, orages magnétiques, etc., occasionnés par ces jets de corpuscules lorsqu'ils atteignent la Terre.

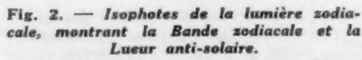
Fig. 1. — *La lumière zodiacale du matin.*
Photographie prise quelques minutes avant le début de l'aube à l'aide d'un condensateur d'appareil de projection ; on reconnaît la constellation des Gémeaux apparaissant dans la lueur au-dessus de la masse noire des arbres.
(*Photo* L. Rudaux).

Les nébuleuses gazeuses. — Ainsi nous avons de nombreux témoignages de l'existence, dans l'espace autour du système solaire, d'un nuage raréfié de gaz et de poussières. Par analogie on peut conclure à l'existence d'un milieu analogue autour des autres étoiles. Mais cela ne constitue pas, en soi, une preuve de l'existence de matière interstellaire, loin de toute étoile. Les phénomènes que nous avons décrits sont, comparativement aux distances qui séparent les étoiles, étroitement localisés dans le voisinage de celles-ci.

Le premier indice de l'existence d'un milieu raréfié, et plus précisément de gaz, à de grandes distances des étoiles est constitué par les nébuleuses gazeuses lumineuses que l'on rencontre principalement le long du tracé de la Voie lactée. La grande nébuleuse d'Orion en est l'exemple le plus célèbre et l'un des plus beaux que l'on puisse contempler, même avec de petits instruments. Son spectre est caractérisé par les raies brillantes (en émission) de l'hydrogène, de l'azote, de l'oxygène, etc., indice d'un milieu gazeux raréfié illuminé par le rayonnement ultraviolet des étoiles qui y sont immergées. La grande nébuleuse entourant l'étoile Eta Carène dans le ciel austral en est un autre exemple (fig. 3).

L'étude systématique des nébuleuses de ce type, effectuée il y a une trentaine d'années par E. Hubble à l'observatoire du Mont Wilson, a établi que celles-ci ne se manifestent qu'autour des étoiles dont la température de surface excède 18 000°. Au-dessous de cette température le rayonnement de l'étoile est trop pauvre en ultraviolet pour exciter la fluorescence du gaz. Ce fait donne à penser que le gaz en question peut être répandu dans de grandes régions et rester invisible, si ces régions ne contiennent pas d'étoile suffisamment chaude pour provoquer une fluorescence appréciable. Cette inférence a été confirmée dans une large mesure par les travaux dont nous parlons plus loin.

En particulier l'existence d'une faible luminescence de l'hydrogène sur de vastes étendues de la Voie lactée a été démontrée, il y a une quinzaine d'années, par les astronomes américains Struve et Elvey, à l'observatoire McDonald au Texas. Ils notèrent que la raie rouge H-alpha de l'hydrogène apparaît en émission dans des régions du ciel apparemment dépourvues de nébuleuses visibles. Depuis cette époque l'emploi de filtres rouges sélectifs et de plaques panchromatiques spéciales a permis de photographier directement ces faibles nébulosités qui s'étendent sur des régions très vastes du ciel



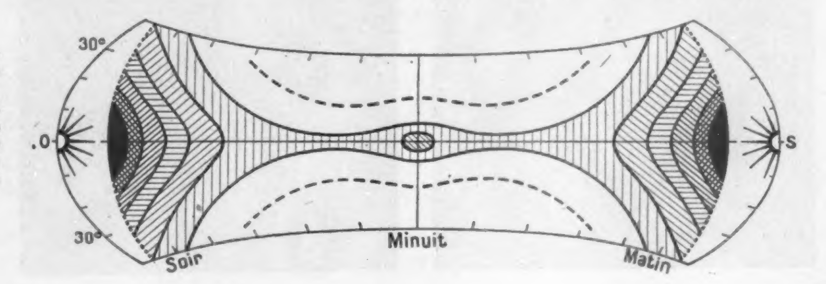


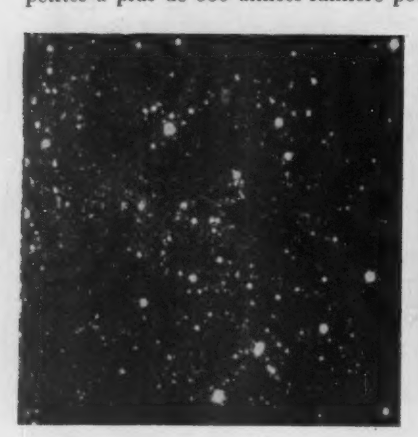
Fig. 2. — *Isophotes de la lumière zodiacale, montrant la Bande zodiacale et la Lueur anti-solaire.*
L'axe horizontal de la carte marque l'Écliptique ; les zones sont ici dessinées d'autant plus sombres que la lumière y est plus intense (comme sur un négatif photographique) ; on voit la Bande zodiacale entourant l'Écliptique et, en son centre, la Lueur anti-solaire.
(D'après Elvey et Roach, 1935).



Fig. 3. — *La grande nébuleuse gazeuse d'Eta Carène.*
Elle présente un mélange complexe de gaz luminescents et de nuages poussiéreux absorbants associés à des groupes d'étoiles chaudes.
(*Photo* G. de Vaucouleurs, au télescope de 75 cm de l'Observatoire du Mont Stromlo).

(fig. 4 à 7). La plus grande de toutes, découverte en 1951 par C. S. Gum, à l'observatoire du Mont Stromlo en Australie, ne couvre pas moins de 20 degrés de diamètre dans les constellations australes des Voiles et de la Poupe du Navire. Une autre, de 12 degrés de diamètre, était connue depuis longtemps dans la constellation d'Orion. L'étendue réelle de ces nébulosités est considérable, variant de quelques années-lumière pour les plus petites à plus de 300 années-lumière pour les géantes de la famille. La nébulosité des Voiles et de la Poupe, par exemple, située à environ 600 années-lumière de la Terre, s'étend sur plus de 200 années-lumière.

L'astronome danois B. Strömgren a établi, il y a une dizaine d'années, la théorie de ces nébulosités. Comme les nébuleuses gazeuses classiques elles sont, elles aussi, illuminées par des étoiles à haute température et leur éclat apparent mesuré permet de calculer, par les formules de Strömgren, leur densité en atomes d'hydrogène. On trouve ainsi des densités de l'ordre de 1 à 10 atomes d'hydrogène par centimètre cube, valeur extrêmement basse sans doute, comparée aux chiffres que nous avons indiqués pour la haute atmosphère terrestre et même



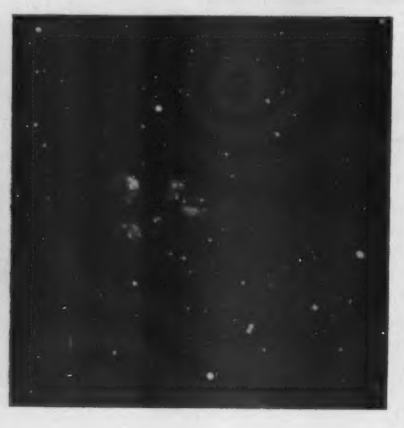


Fig. 4 et 5. — *Nébuleuses gazeuses révélées par photographie en lumière rouge H-alpha de l'hydrogène.*
A gauche, photographie prise en lumière bleue, montrant un riche champ stellaire dans la Voie lactée. — *A droite*, photographie de la même région du ciel prise à travers un filtre isolant la raie rouge H-alpha ; elle révèle un groupe de nébuleuses pratiquement invisibles en lumière bleue. Remarquer aussi les changements d'éclats relatifs des étoiles, dus à leurs différentes colorations.





Fig. 6 et 7. — *Deux aspects de la même région du ciel dans la constellation du Cygne.*
A gauche, une photo prise avec la raie Hα (longueur d'onde : 6 562 Å) fait ressortir les nébuleuses America et du Pélican. *A droite*, photo prise dans le proche infrarouge (8 200 à 8 500 Å). Travaux de J. Dufay, J.-H. Bigay et P. Berthier.
(Photos Observatoire de Haute-Provence).

pour l'espace interplanétaire, mais non négligeable vu l'immensité des volumes d'espace en jeu. Nous verrons que cet ordre de grandeur pour la densité de matière dans l'espace interstellaire se trouve remarquablement confirmé par différentes méthodes.

Les raies stationnaires. — Même dans les régions du ciel où aucune trace de nébulosité n'est visible, l'existence d'un milieu gazeux très raréfié est décelée par le phénomène des raies d'absorption interstellaires ou raies « stationnaires ». Cette dénomination est due aux circonstances de leur découverte.

Il existe, on le sait, des étoiles doubles dont les composantes sont trop serrées pour être distinguées séparément dans les plus puissants télescopes, mais dont la nature binaire est décelée par l'observation de leur spectre. Du fait de leur mouvement de révolution autour de leur centre de gravité commun, les raies spectrales de chacune des deux composantes sont déplacées par effet Doppler-Fizeau, l'une vers le rouge, l'autre vers le violet, d'une quantité variable dépendant de la valeur de la composante de leur vitesse de révolution dirigée vers la Terre. Comme chaque composante alternativement s'éloigne, puis se rapproche de la Terre au cours du mouvement, toutes les raies spectrales de ces binaires « spectroscopiques » effectuent une double oscillation de part et d'autre de leur position moyenne à chaque révolution du système.

Or, en 1904, l'astronome allemand J. Hartmann, à l'observatoire de Potsdam, découvrit dans le spectre d'une binaire spectroscopique, l'étoile Delta d'Orion, une raie « stationnaire » qui n'oscillait pas avec toutes les autres, mais restait fixe au cours de la révolution du système. Ce comportement anormal ne fut pas immédiatement interprété correctement. On crut pendant un temps que cette raie d'absorption (la raie K du calcium ionisé) était produite par un nuage de calcium entourant le système et ne participant donc pas à sa rotation.

La véritable explication n'apparut qu'une vingtaine d'années plus tard lorsqu'on reconnut que le phénomène des raies stationnaires n'affectait que les étoiles lointaines et que l'intensité des raies stationnaires augmente avec la distance de l'étoile observée. Il était dès lors évident que l'on avait affaire à un milieu gazeux extraordinairement raréfié répandu dans tout l'espace sur le trajet des rayons lumineux de l'étoile à la Terre et qui ne produit une absorption sensible que si la longueur du trajet est suffisamment grande.

Une fois le phénomène compris, il devint possible de reconnaître les raies d'absorption interstellaire même dans les spectres d'étoiles non binaires, car les raies interstellaires produites par des atomes isolés à basse température sont beaucoup plus nettes, plus fines que les raies produites par les mêmes atomes dans une atmosphère stellaire relativement dense et à haute température. Des études détaillées effectuées à l'observatoire du Mont Wilson avant la dernière guerre par W. S. Adams et Th. Dunham, à l'aide de spectrographes à grande dispersion, ont permis de reconnaître l'existence dans l'espace interstellaire non seulement du calcium, mais également

du sodium, du potassium, du titane et même d'associations moléculaires (« radicaux »), telles que le cyanogène CN et les hydrures NaH, CH, etc. L'hydrogène neutre froid (non excité) ne produit pas de raie d'absorption décelable dans les spectres astronomiques, mais sa présence en grande abondance est indiquée par celle des hydrures.

A partir des intensités observées des raies et des distances des étoiles dans les spectres desquelles ces raies apparaissent, on peut évaluer la densité moyenne des différents atomes dans l'espace interstellaire ; le tableau suivant est fondé sur de tels calculs.

Composition de la matière interstellaire
(Densité des gaz en grammes par centimètre cube).

Atomes	d'après Dunham	d'après Struve
Hydrogène	$1,7 \times 10^{-23}$	$2,7 \times 10^{-24}$
Oxygène	....	$2,3 \times 10^{-26}$
Sodium	4×10^{-27}	4×10^{-29}
Potassium	7×10^{-28}	....
Calcium	7×10^{-28}	7×10^{-30}
Titane	8×10^{-30}	....
CH	2×10^{-29}	....
CN	$1,5 \times 10^{-29}$	....

L'incertitude qui règne encore sur l'abondance relative de l'hydrogène devrait être prochainement bien réduite par une toute nouvelle méthode d'observation du gaz interstellaire.

La radiation de l'hydrogène sur 21 cm. — Comme nous venons de le voir, l'hydrogène, en dépit de son abondance probable dans l'espace, ne donne aucune raie d'absorption interstellaire. Son abondance ne peut être évaluée que de façon un peu incertaine par celle de ses composés. D'autre part, l'observation des nébulosités à raies d'émission ne nous renseigne directement que sur la présence de l'hydrogène ionisé H-II au voisinage des étoiles chaudes, la recombinaison des protons avec les électrons libres s'accompagnant de l'émission de la raie rouge H-alpha au cours du retour de l'atome à l'état normal neutre ; là encore l'évaluation de l'abondance de l'hydrogène neutre est indirecte. De plus elle ne vaut que dans les régions où existent des étoiles chaudes.

L'observation directe du rayonnement de l'hydrogène neutre et froid H-I répandu dans tout l'espace interstellaire est devenue possible tout récemment, grâce à une application extrêmement remarquable des techniques radio-astronomiques développées depuis la fin de la guerre. On sait que le rayonnement radio de courte longueur d'onde émis par certains astres peut être détecté par des techniques dérivées de celles du radar et par l'emploi de grands récepteurs d'onde ou radio-télescopes. Le rayonnement ainsi reçu de la Voie lactée est un rayonnement *continu* dont l'origine est encore discutée.

En 1945, l'astronome hollandais Van de Hulst annonça qu'il existait une possibilité théorique de déceler une raie d'émission de l'hydrogène neutre interstellaire dans le rayonnement radio de la Voie lactée. Cette radiation, due à un saut électronique rare, mais spontané, entre deux niveaux d'énergie très voisins de l'atome neutre d'hydrogène dans son état normal, n'avait jamais été observée, mais pouvait être prédite avec précision par voie théorique. La fréquence calculée de la radiation était de 1 420 mégacycles par seconde, correspondant à une longueur d'onde de 21 cm, observable dans le spectre radio du ciel. Cette radiation devait se manifester *en émission*, c'est-à-dire comme un excès d'intensité par rapport au spectre continu superposé provenant de la Voie lactée.

La délicate expérience fut effectuée presque simultanément en 1951 par H. I. Ewen, de l'Université de Harvard College aux États-Unis, et par C. A. Muller, du groupe radio-astronomique des Pays-Bas. Les résultats rapidement étendus au ciel austral par W. N. Christiansen et J. V. Hindman, du Laboratoire de Radiophysique de Sydney, ont permis d'établir des cartes de la distribution du rayonnement de l'hydrogène neutre le long de la Voie lactée (fig. 8). Cette étude de la raie 21 cm de H-I, actuellement en plein développement, a eu également d'importantes applications à l'étude de la structure en spirale de notre Galaxie ainsi que nous l'exposerons ultérieurement.

L'intérêt essentiel de ces expériences au point de vue actuel réside dans la preuve définitive qu'elles apportent de la grande abondance de l'hydrogène neutre dans l'espace interstellaire. D'après une estimation préliminaire des chercheurs australiens, l'intensité observée de la radiation correspond à une densité de l'ordre de 0,5 à 1,0 atome d'hydrogène par centimètre cube, résultat en bon accord avec les évaluations antérieures fondées sur les observations optiques.

Cette abondance de l'hydrogène neutre dans l'espace n'est d'ailleurs pas limitée à notre seul système ; tout récemment, en effet, Kerr et Hindman, utilisant un radio-télescope plus puissant monté près de Sydney, ont

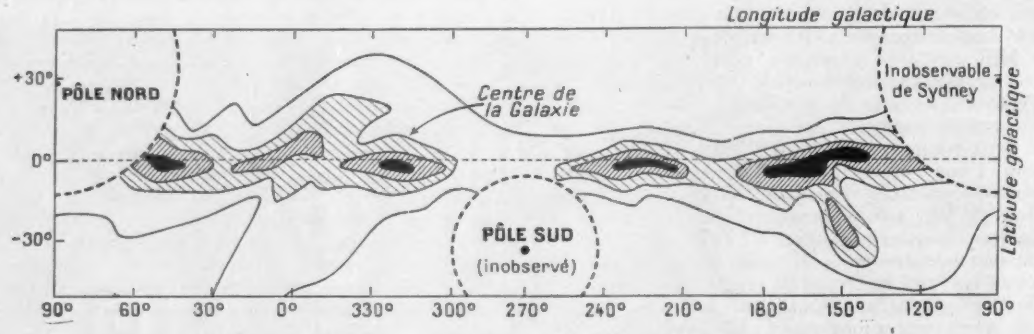


Fig. 8. — *Distribution du rayonnement radio de l'hydrogène neutre sur 21 cm dans la Voie lactée.*
Les zones ont été dessinées d'autant plus sombres que le rayonnement sur 21 cm qui en provient est plus intense.
(D'après Christiansen et Hindman, Sydney, 1952).

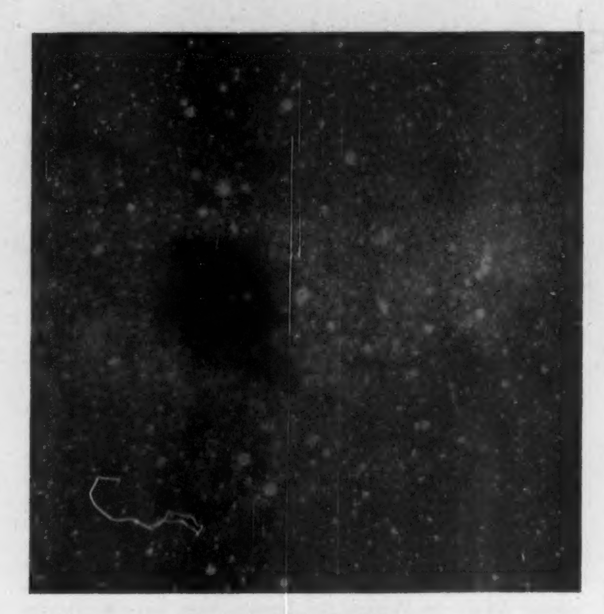


Fig. 9. — *Le Sac à charbon.*
Gros nuage sombre dans la Voie lactée au voisinage de la Croix-du-Sud dont les 5 étoiles brillantes sont visibles au-dessus du centre de la photographie.
(*Photo* G. de Vaucouleurs).

annoncé avoir détecté de même le rayonnement de l'hydrogène associé aux Nuées de Magellan, ces galaxies voisines visibles dans l'hémisphère austral.

La poussière interstellaire. — En plus d'un gaz diffus, l'espace interstellaire est peuplé par des nuages très ténus de poussières microscopiques. Grâce à l'énormité des distances en jeu ces poussières exercent une absorption non négligeabe sur la lumière des astres lointains et cette absorption interstellaire constitue même l'une des difficultés majeures auxquelles se heurtent les astronomes dans l'étude des régions lointaines de notre Galaxie.

Lorsqu'ils se projettent devant un riche fond stellaire, ces nuages de matière sombre deviennent directement visibles comme autant de nuées noires se profilant avec netteté devant le fond lumineux lointain. L'une des plus belles de ces nébuleuses noires est le célèbre « Sac à Charbon », au nom éloquent, que l'on aperçoit comme une grosse tache sombre dans la Voie lactée au voisinage de la Croix du Sud (fig. 9). Une tache analogue apparaît dans le ciel boréal à la lisière des constellations du Cygne et du Lézard. L'observation télescopique et surtout la photographie en révèlent bien d'autres, tout au long de la Voie lactée, telle la belle nébuleuse sombre de la « Tête de Cheval » près de Zeta Orion. La grande bifurcation de la Voie lactée allant du Cygne au Centaure, à travers Ophiuchus, l'Écu, le Scorpion et le Sagittaire, est elle-même due à une série de grandes nébuleuses sombres proches du Soleil et qui nous cachent une bonne partie des régions centrales du système galactique.

En dénombrant les étoiles dans une région obscurcie et dans une région claire voisine, on peut évaluer l'effet d'absorption exercé par ces nébuleuses sombres et leur étendue. Des dimensions de plusieurs dizaines et même centaines d'années-lumière sont fréquentes, cependant que l'absorption se chiffre aisément par un affaiblissement de la lumière des astres lointains à la moitié, au quart, ou à une fraction moindre de sa valeur initiale.

D'autre part, en mesurant la couleur des étoiles vues à travers ces nuages de poussières interstellaires, on a pu se rendre compte que celles-ci absorbent plus énergiquement les courtes longueurs d'onde (bleu, violet, ultra-violet) que les grandes longueurs d'onde (jaune, rouge, infra-rouge). La théorie de cette absorption sélective, due initialement au physicien allemand Mie et développée après lui par divers astronomes, en particulier C. Schalen en Suède et Van de Hulst en Hollande, permet de calculer les dimensions moyennes des particules produisant l'absorption observée. On a ainsi trouvé que les dimensions des particules de poussière cosmique n'excèdent guère quelques dix-millièmes de millimètre en moyenne ; le terme de « poussière » est presque trop grossier pour désigner d'aussi fines particules et l'on préfère souvent parler de « fumée » interstellaire. La fumée bleutée qui s'élève d'une cigarette et à travers laquelle les objets apparaissent roussis par son effet de transmission sélective nous donne peut-être une idée plus exacte de la ténuité des particules interstellaires.

Mais la densité de matière dans notre fumée de cigarette est énorme par rapport à l'extraordinaire dispersion du milieu interstellaire. La densité de la poussière dans l'espace interstellaire a été diversement évaluée et varie d'ailleurs suivant les régions. Dans les nuages sombres les plus « denses », tels que la Tête de Cheval ou le Sac à Charbon, la densité pourrait s'élever à un dix millième de milligramme par kilomètre cube (10^{-22} g/cm^3). Mais dans l'ensemble de l'espace interstellaire, on estime que la densité ne dépasse guère quelques millièmes de la valeur précédente. Seule l'immensité des espaces en jeu permet à une matière aussi raréfiée de faire sentir ses effets. Notons d'ailleurs que la masse de matière condensée en poussières est certainement très faible comparée à celle qui constitue le gaz interstellaire où prédomine l'hydrogène. Comme nous l'avons dit, la densité de celui-ci peut être évaluée à environ un atome d'hydrogène par centimètre cube en moyenne.

*
* *

Ainsi un ensemble d'observations concordantes a démontré la présence d'une quantité non négligeable de gaz et de poussière dans cet espace interstellaire que l'on croyait jadis parfaitement vide de matière. Nous verrons dans un second article que, suivant des travaux récents, les espaces encore plus gigantesques séparant les galaxies ne semblent pas, eux non plus, aussi dépourvus de matière qu'on l'avait pensé jusqu'ici.

(*à suivre*).

Gérard de Vaucouleurs,
Commonwealth Observatory,
Mount Stromlo, Canberra.

A l'écoute des insectes

La revue américaine *Food Engineering* a décrit un dispositif imaginé pour détecter les insectes qui vivent à l'intérieur des grains conservés. Il est constitué par un microphone très sensible et un amplificateur électronique relié à des écouteurs. Un échantillon des grains à inspecter est déposé dans une caisse et laissé en repos ; le microphone plongé dans l'échantillon transmet les sons émis par les larves qui mangent ou se déplacent à l'intérieur des grains et révèle leur présence. Les détruire dans leur abri sera un autre problème...

Les réactions d'échange isotopique

Il existe un type particulièrement intéressant de réactions pour l'étude des mécanismes chimiques à l'échelle moléculaire : ce sont les réactions d'échange, au cours desquelles un ou plusieurs atomes « s'échangent » entre une ou plusieurs formes chimiques. Mettons par exemple de l'acide acétique en solution aqueuse; les théories de l'électrolyse nous apprennent que l'on va avoir une réaction chimique de dissolution de la molécule d'acide en deux ions (dissociation ionique d'Ostwald et Arrhénius) selon la formule :

$$CH_3CO_2H \rightarrow CH_3CO_2^- + H^+.$$

Un équilibre va s'établir rapidement entre cette réaction et la réaction concurrente de recombinaison, équilibre que l'on peut traduire ainsi :

$$CH_3CO_2H \rightleftarrows CH_3CO_2^- + H^+,$$

la double flèche indiquant que la réaction a lieu constamment dans les deux sens. On connaît beaucoup d'autres réactions de ce genre : dissociation-recombinaison des électrolytes faibles, saponification-estérification des acides organiques et des alcools, etc.

Regardons, dans la réaction considérée, ce qui se passe pour un atome d'hydrogène de l'acide. La molécule d'acide acétique à laquelle il appartient se dissocie en deux fragments, qui se séparent et vont errer chacun de leur côté; au bout d'un certain temps, un autre radical $CH_3CO_2^-$ va rencontrer l'ion hydrogène H^+ qui se promène et va l'accaparer, alors que le radical initial $CH_3CO_2^-$ va accaparer un autre ion hydrogène (ces dissociations et recombinaisons successives traduisent en effet l'état d'équilibre chimique au point de vue de la thermo-dynamique statistique); mais il est extrêmement peu probable, vu le perpétuel état d'agitation brownienne du milieu liquide, que l'ion hydrogène envisagé se recombine au radical auquel il était fixé initialement. Il y a donc en définitive un perpétuel échange des atomes d'hydrogène entre les molécules d'acide acétique, et l'exemple choisi est un des plus simples que nous puissions donner pour faire comprendre les mécanismes d'échange moléculaires.

Ces types de réactions, dites d'échange, ont été invoquées depuis longtemps pour expliquer certains phénomènes chimiques; mais si la théorie nous les impose, rien au point de vue expérimental ne nous en prouvait la réalité, car nous ne pouvons distinguer par l'analyse chimique ordinaire entre deux molécules qui ont échangé un ou plusieurs atomes : dans une telle réaction, on ne « voyait » rien, on ne décelait aucun changement entre l'état initial et l'état final du composé, et les états intermédiaires se passent à une échelle où nous n'avions pas de moyens d'observation.

Mais il n'en est plus ainsi depuis l'avènement des radioisotopes; il est désormais possible de « marquer » des molécules avec un isotope radioactif et de suivre cet isotope (ou les molécules marquées) par des moyens physiques de détection, au cours de leurs pérégrinations chimiques. Ainsi, à la classe des réactions d'échange théoriquement possibles s'est rapidement substituée la classe réelle et expérimentale des « réactions d'échange isotopique », qui apportent la preuve des réactions d'échange dans le sens général du terme.

La définition d'une réaction d'échange isotopique est donc la suivante : c'est une réaction chimique dans laquelle les atomes d'isotopes d'un élément donné s'échangent entre deux ou plusieurs formes chimiques renfermant cet élément. Un des buts principaux de leur étude est de prouver expérimentalement l'existence d'échanges d'atomes ou de groupes d'atomes entre plusieurs formes chimiques, et de déduire des grandeurs caractéristiques de cet échange. Ces réactions peuvent fournir des renseignements utiles en ce qui concerne les vitesses de réaction à l'équilibre, la réversibilité des couples d'oxydo-réduction, la labilité des groupes complexes, la nature de certaines liaisons chimiques, l'extension et la nature des surfaces solides, etc. Elles sont souvent d'un emploi commode pour l'étude des mécanismes de réaction et des mécanismes de catalyse. De plus, les réactions d'échange sont fréquemment un moyen aisé pour marquer des composés, et constituent ainsi une introduction ou un intermédiaire pratique pour des études ultérieures.

Nous comprendrons mieux sur un exemple précis certaines des explications que nous venons de donner. Prenons en solution alcoolique des ions iode et de l'iodure d'éthyle IC_2H_5; on suppose qu'il se passe un échange continu entre les ions iode et les atomes d'iode de l'iodure d'éthyle, mais aucune évidence expérimentale par des manipulations purement chimiques ne peut en être donnée. Si maintenant nous employons de l'iode radioactif pour fabriquer notre iodure d'éthyle, nous obtiendrons des molécules d'iodure d'éthyle « marquées »; mélangeons-les alors comme précédemment avec des ions iode en solution; s'il y a véritablement échange entre les ions et les atomes d'iode de l'iodure, ce dernier corps aura acquis des atomes stables en remplacement d'un certain nombre d'atomes radioactifs, et la diminution de la radioactivité de l'iodure d'éthyle obtenu par séparation nous le montrera au bout d'un temps assez court. Effectivement, c'est bien ce que l'on constate.

A cette constatation qualitative peut succéder une analyse quantitative du phénomène, consistant en des mesures précises de la radioactivité de l'iodure faites à intervalles réguliers; on pourra établir ainsi la loi expérimentale de l'échange : la différence entre la radioactivité initiale de l'iodure d'éthyle et sa radioactivité résiduelle après séparation nous donne évidemment la radioactivité des ions iode, dont nous tracerons la courbe de variation (fig. 1). Nous tirons immédiatement de cette courbe les renseignements suivants. Tout d'abord, nous avons l'allure générale de la réaction : croissance rapide au début suivie d'une tendance à une valeur d'équilibre que nous noterons R_e (valeur d'équilibre dépendant des concentrations initiales); ensuite, nous voyons que la valeur d'équilibre n'est atteinte qu'au bout d'un certain temps, temps à l'aide duquel on peut définir une *période* de la réaction d'échange isotopique, ou temps de demi-réaction.

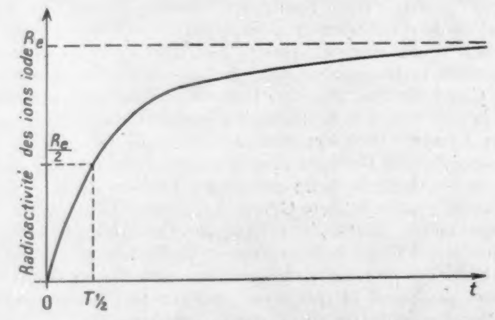


Fig. 1. — *Variation en fonction du temps de la radioactivité des ions iode mis en solution avec de l'iodure d'éthyle marqué à l'iode radioactif.*
La quantité de l'iode échangé est mesurée par la radioactivité croissante des ions iode, initialement non radioactifs. En pratique, on mesure la radioactivité décroissante de l'iodure d'éthyle, après séparation ; en la soustrayant de sa radioactivité initiale, on obtient celle des ions iode. R_e, valeur d'équilibre dépendant des concentrations initiales ; $T_{1/2}$, temps de demi-réaction, ou *période* de la réaction d'échange isotopique.

Ces résultats étant généraux, nous pouvons représenter schématiquement une réaction d'échange isotopique par la formule :

$$AB + A^*C \rightarrow A^*B + AC,$$

où les atomes A (neutre) et A* (radioactif) se sont échangés entre les formes chimiques AB et AC.

Mais quelle sera la voie pour aller d'un état à l'autre ? Deux cas sont possibles. Dans le premier, il y a dissociation et recombinaison (comme pour l'acide acétique) selon la formule simplifiée :

$$AB + A^*C \rightarrow A + B + A^* + C \rightarrow A^*B + AC.$$

Dans le second cas, l'étape intermédiaire est la formation d'un complexe selon le schéma suivant :

$$AB + A^*C \rightarrow (AA^*BC) \rightarrow A^*B + AC.$$

Nous arrivons dans les deux cas au même résultat final, mais par deux processus pourrait-on dire opposés (l'un est une dissociation suivie de recombinaison, l'autre est une association suivie de fragmentation) et dans les deux cas les produits finaux diffèrent des produits initiaux.

Justification thermodynamique. — Il nous reste maintenant à voir le pourquoi d'une telle réaction, dont l'évolution ne peut être commandée par des différences chimiques, vu que les éléments isotopes (sauf les plus légers) ont des propriétés chimiques quasi identiques.

C'est la thermodynamique chimique statistique qui justifie ces réactions d'échange isotopique. La différence d'enthalpie (l'*enthalpie* est le potentiel thermodynamique à pression constante à l'aide duquel on définit l'état d'un système chimique) est nulle dans une telle réaction. L'enthalpie d'un système chimique est un peu comme la tension électrique aux bornes d'un générateur; de même que la différence de tension accélère les électrons d'un conducteur d'une borne à l'autre et les fait « travailler » (courant électrique, chaleur, etc.), de même c'est la différence d'enthalpie entre l'état initial et l'état final qui fait évoluer un système chimique entre deux états. Par contre, si l'enthalpie est nulle pour le système d'échange isotopique, l'entropie d'un tel système va en augmentant, comme on va le voir aisément, et ce système satisfait ainsi au deuxième principe de la thermodynamique, dit principe d'évolution des systèmes.

On sait que l'entropie d'un système est liée aux phénomènes d'ordre-désordre qui y règnent, l'entropie étant d'autant plus grande que le désordre (agitation thermique moléculaire, vibrations thermiques d'un réseau cristallin, etc.) à l'intérieur de ce système est lui-même plus grand. Nous pouvons comparer le cas d'une réaction d'échange isotopique à celui de deux ballons communiquants, contenant par exemple, dans l'état initial, l'un du CO_2 et l'autre de l'hydrogène; dans l'état final nos deux ballons contiendront un mélange de CO_2 et d'hydrogène; la différence d'entropie due au mélange des deux gaz est bien définie et parfaitement calculable à partir des pressions et volumes initiaux (gaz supposés parfaits). Dans notre réaction d'échange isotopique, le principe d'évolution est le même; initialement, nous avons d'une part un corps inerte et de l'autre un corps contenant un isotope; c'est, si l'on peut dire, la phase ordonnée; en fin de réaction les deux corps contenant l'isotope se le sont « partagés », c'est la phase désordonnée; la différence d'entropie entre les deux états est positive, et le deuxième principe de la thermodynamique est sauvegardé.

Exemples pratiques. — Voyons maintenant, sur des exemples pratiques, ce que nous avons expliqué théoriquement des réactions d'échange isotopique, et essayons de concilier les enseignements expérimentaux avec les données quelque peu abstraites de ce préambule. Pour plus de simplicité, nous emprunterons nos exemples à des réactions d'échange isotopique homogènes, c'est-à-dire à des réactions ayant lieu entre des réactants uniformément distribués dans une seule phase (le plus souvent liquide, cas des réactions en solution aqueuse). Pour une réaction d'échange hétérogène (par exemple échange entre phase solide et liquide, ou liquide et gazeuse) l'évolution est généralement déterminée non seulement par la vitesse de l'échange entre les réactants mais aussi par les vitesses avec lesquelles les produits de l'échange se dispersent dans leurs phases respectives. L'analyse du phénomène s'en trouverait notablement compliquée.

Prenons pour premier exemple celui d'une réaction d'échange isotopique simple, en appelant ainsi une réaction dans laquelle les atomes qui s'échangent entre deux espèces moléculaires différentes sont chimiquement équivalents. Si un système chimique est le siège d'une telle réaction, l'apparition d'atomes radioactifs dans le réactant initialement non radioactif, suit une loi exponentielle simple, dont l'allure est montrée par la courbe déjà connue de la figure 1. La plus célèbre réaction d'échange isotopique, qui fut aussi la première en date, est de ce type. Elle fut réalisée par Hevesy en 1920, avec un corps radioactif naturel de la famille du thorium, le thorium B, isotope radioactif du plomb de masse atomique 212. Hevesy montra qu'en solution aqueuse il y avait échange rapide d'atomes de plomb entre le nitrate de plomb Pb $(NO_3)_2$ et le chlorure de plomb $PbCl_2$. Pour réaliser cette expérience, une solution radioactive de nitrate de plomb (où certains atomes de plomb étaient remplacés par des atomes de thorium B) fut ajoutée à une solution inerte (c'est-à-dire non radioactive) de chlorure de plomb; au bout d'un certain temps le chlorure de plomb était analysé pour sa radioactivité, après qu'on l'eut séparé du mélange par cristallisation. Le fait que le chlorure de plomb se décelait par une radioactivité mesurable prouvait qu'il y avait eu échange, et que cet échange se faisait vraisemblablement par le mécanisme de dissociation suivi de recombinaison, le plomb se déplaçant sous la forme chimique d'un ion divalent Pb^{++}.

Un autre exemple de réaction d'échange isotopique sera celui d'une réaction complexe, si l'on convient d'appeler ainsi une réaction d'échange dans laquelle les atomes échangeables ne sont pas chimiquement équivalents. C'est le cas des échanges

Fig. 2. — ***Deux modalités différentes de l'échange d'un atome de brome entre les deux composés I et II.***
Explications dans le texte.

d'atomes de brome entre le dibromo-2-4-toluène et le dibromo-2-4-nitrobenzène (fig. 2). Les atomes de brome peuvent en effet s'échanger de diverses manières entre les positions ortho ou para, comme les flèches l'indiquent sur le schéma. Si on marque initialement l'un des bromes du corps I par exemple, on pourra suivre ses échanges avec le corps II, selon que le brome marqué est un brome ortho ou un brome para, etc. Le brome radioactif employé est par exemple du brome 82, émetteur de rayons β d'énergie maximum 0,465 MeV et de période 34 h. On constate que le résultat de ces phénomènes d'échange diffère selon les positions et les cas envisagés; c'est

un exemple de la nature des renseignements que peuvent fournir les réactions d'échange sur la labilité des molécules et les liaisons chimiques moléculaires.

Étude du mécanisme des réactions chimiques. — L'exemple suivant portera, non sur une réaction d'échange proprement dite, mais sur l'étude d'un mécanisme de réaction chimique, mécanisme au cours duquel on fait appel aux réactions d'échange lors d'une tentative d'interprétation expérimentale d'une théorie. Cette réaction, appelée réaction de Mentschutkin, est une réaction de « quaternisation » entre amines et halogénures d'alcoyle, dans laquelle un atome central d'azote primitivement lié à trois groupes alcoyles (azote ternaire) est en fin de réaction lié à quatre groupes alcoyles (azote devenu quaternaire) selon le schéma :

$$R_3N + RX \rightleftarrows R_4N^+ + X^-.$$

Dans cette formule, N et X représentent respectivement un atome d'azote et un atome d'halogène (l'halogène pouvant être du chlore, du brome, de l'iode...) et R est un groupement alcoyle (méthyle CH_3, éthyle C_2H_5, propyle C_3H_7, etc.). Cette réaction a déjà été le sujet de nombreuses expériences et de fréquents débats; la cinétique de cette réaction, par exemple, présente un très grand intérêt à cause de la valeur extrêmement faible du facteur de probabilité dans l'équation cinétique, ce facteur étant en quelque sorte une mesure de la probabilité pour qu'un choc moléculaire entre R_3N et R conduise à R_4N^+.

Hermann et ses collaborateurs ont pensé que si, au cours de la réaction chimique, un complexe intermédiaire était formé dans lequel les quatre groupements alcoyles occuperaient des positions équivalentes, il y a de fortes chances pour que le retour à l'état initial se fasse après un échange possible de groupement alcoyle, et qu'en faisant appel à des groupements alcoyles marqués, cet échange puisse être mis en évidence, traduisant finalement la formation d'un complexe intermédiaire; cela nous éclairerait beaucoup sur le mécanisme de la réaction chimique. L'expérience fut donc réalisée en choisissant, comme composé R_3N, de la triméthylamine (non radioactive) $(CH_3)_3N$ et pour halogénure d'alcoyle de l'iodure de méthyle CH_3I dans lequel un des atomes d'hydrogène fut remplacé par du tritium, isotope radioactif de l'hydrogène, de masse 3 ([1]). Les solvants employés pour cette étude furent le benzène et l'alcool. Si le mécanisme invoqué était exact, on devait au bout d'un certain temps trouver une partie de la radioactivité initiale de l'iodure de méthyle dans la triméthylamine, en supposant une distribution au hasard des atomes de tritium entre les différents groupes méthyle (principe d'égale distribution). Or, moins de 1 pour 100 de la radioactivité initiale fut retrouvée sur l'amine étudiée. La conclusion s'imposait alors que le mécanisme auquel on avait fait appel pour expliquer cette réaction de quaternisation n'était pas le mécanisme réel de la réaction chimique.

Inversion de Walden. — De nombreuses réactions comprenant ce qu'on appelle la substitution sur un carbone tétraédrique s'expliquent par le « mécanisme d'inversion » de Walden. La figure 3 schématise ce type de réactions. X et X' sont deux ions ou radicaux qui s'échangent lors de la réaction (dans la figure, X' étant supposé radioactif a été écrit X*); R_1, R_2, R_3 sont trois groupements ou radicaux qui peuvent être identiques ou différents. $CXR_1R_2R_3$ est le corps initial (représenté dans l'espace sur la figure 3, l'atome tétraédrique de carbone au centre du tétraèdre n'étant pas figuré pour simplification) et $CX'R_1R_2R_3$ est le corps final obtenu après échange des éléments ou groupements X et X' dans le système.

1. Voir : Le tritium ou hydrogène radioactif, *La Nature*, n° 3211, novembre 1952, p. 334.

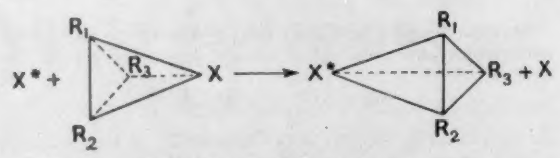


Fig. 3. — ***Schéma du mécanisme d'inversion de Walden, l'un des atomes, X*, étant radioactif.***
Explications dans le texte.

Des considérations théoriques indiquent que la substitution de X' à X est la plus probable lorsque le groupe qui entre (X') s'approche de l'atome de carbone le long de la ligne de liaison joignant l'atome de carbone au groupe qui va être remplacé. Le résultat de cet échange est que le nouveau groupe occupe dans la molécule une position qui est l'image dans un miroir (donc non superposable) de la position du groupe déplacé; si la substitution porte sur un carbone tétraédrique assymétrique, c'est-à-dire pour lequel les groupes R_1, R_2 et R_3 sont différents, on aura une inversion optique.

L'accumulation de résultats sur ce type de réactions est particulièrement souhaitable pour le chimiste et de nombreuses études en ont été effectuées en faisant appel aux isotopes radioactifs. Si on marque les groupes X et X' en effet, la réaction devient une réaction d'échange isotopique qui entre dans les cadres que nous avons tracés, le mécanisme probable de la réaction étant la formation d'un complexe intermédiaire du type $(XCR_1R_2R_3X')$ suivi de décomposition, comme on l'a vu. L'étude s'effectue, d'une part en suivant l'apparition de la radioactivité dans un des réactants selon la méthode générale; d'autre part, dans le cas d'inversion optique, par l'étude optique des racémiques formés (mélanges de corps à pouvoirs rotatoires opposés). Par exemple, l'inversion de Walden a été étudiée pour un halogénure de lithium mélangé à un halogénure organique dans l'acétone. Le nombre d'échanges, obtenu par l'étude des variations de la radioactivité de l'halogénure de lithium marqué fut comparé d'une manière très satisfaisante au nombre obtenu et calculé à partir des résultats d'inversion optique.

Réactions catalysées. — Nous citerons deux réactions d'échange où intervient un catalyseur. L'une concerne l'échange d'atomes d'hydrogène entre eau et hydrogène moléculaire, l'autre l'échange d'atomes d'hydrogène entre alcool éthylique et hydrogène moléculaire.

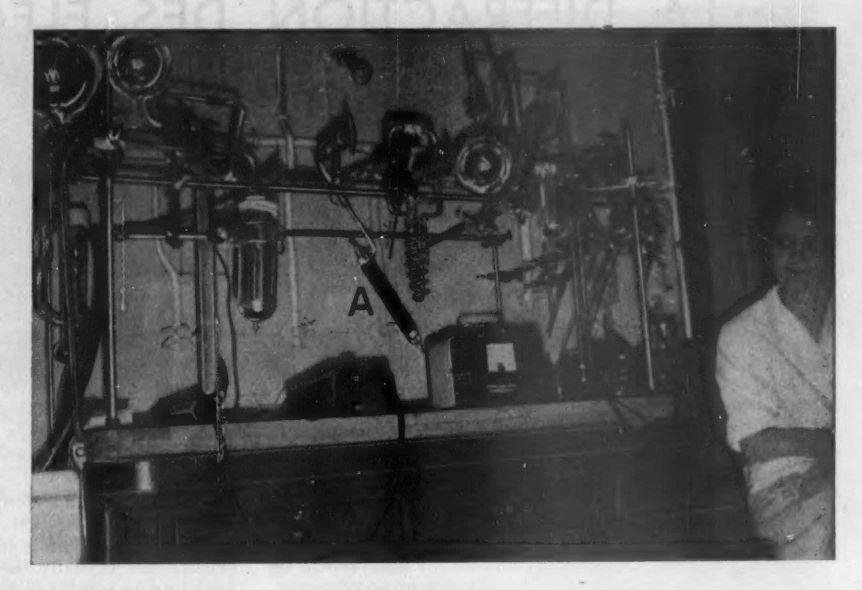
Le but de ces études est de pénétrer plus profondément le mécanisme intime des échanges qui ont lieu à la surface d'un catalyseur, les réactants choisis étant simples et de propriétés bien connues. Ces phénomènes chimiques à l'échelle moléculaire étant très complexes, Farkas, une quinzaine d'années auparavant, en avait déjà abordé l'étude en employant le deutérium (isotope de l'hydrogène, de masse 2). Les auteurs de cet article ont pensé qu'il était possible de mieux suivre, en remplaçant le deutérium, non radioactif, par du tritium (hydrogène de masse 3, radioactif), les phénomènes de dissociation et de recombinaison aboutissant à l'échange, ainsi que l'influence des variations de la masse catalytique sur laquelle a lieu cet échange. Pour cette étude, l'appareillage de la figure 4 a été réalisé. Sur un catalyseur de platine, les molécules d'hydrogène tritié ([1]) furent amenées à échanger leur tritium avec les atomes d'hydrogène du radical oxhydrile de l'alcool éthylique normal. La formule de l'échange peut être ainsi représentée :

$$C_2H_5OH + HT \rightleftarrows C_2H_5OT + H_2.$$

1. L'un des atomes de l'hydrogène moléculaire H_2 peut être remplacé par du tritium ${}^3_1H$ ou T ; la molécule se symbolise alors par HT.

Fig. 4. — *Appareillage pour l'étude des réactions d'échange isotopique à l'aide de composés marqués au tritium.*

En A, compteur de Geiger spécial pour la mesure de la radioactivité d'un composé tritié ; l'énergie des rayonnements du tritium étant très faible, le composé est introduit à l'intérieur même du compteur, car ils ne pourraient en franchir la paroi (*Laboratoire de chimie-physique de l'Université de Paris, service de* M. VIALLARD).



En faisant varier la nature du catalyseur, les pressions respectives d'hydrogène tritié et d'alcool, les concentrations du tritium et de l'hydrogène tritié, la température et la durée du contact des mélanges avec la surface du catalyseur, on peut arriver à déterminer l'étendue de la réaction d'échange, et en mesurant l'activité initiale de HT et finale de C_2H_5OT et de l'hydrogène à l'aide d'un compteur de Geiger (figuré en A sur la figure 4) il sera possible d'évaluer l'importance de l'échange réalisé. A partir de ces résultats expérimentaux une tentative d'explication théorique du phénomène d'échange à la surface du catalyseur peut être proposée.

Pour éclaircir la dépendance de certaines réactions d'échange dans les processus monomoléculaire ou bimoléculaire, et calculer en même temps les chaleurs d'activation des réactions (ces chaleurs d'activation étant en quelque sorte une mesure de l'énergie à fournir au système pour que la réaction ait lieu) ainsi que les constantes de vitesse, May et Giraudel ont fait toute une série d'expériences avec l'iodure de sodium. Ils ont étudié les échanges d'iode entre l'iodure de sodium radioactif et le paraiodonitrobenzène, l'iodure d'éthyle, le paraiodophénol, l'iodobenzène, l'iodure de naphtyle et enfin l'iodure d'allyle. Ils ont prouvé que le fait de changer le solvant dans une réaction d'échange peut modifier l'ordre de la réaction. En suivant l'échange d'iode entre l'iodure de sodium radioactif et le paraiodonitrobenzène, il a été trouvé que la réaction est de l'ordre monomoléculaire avec le 2-octanol comme solvant et bimoléculaire avec l'acétonitrile. Mais la poursuite de ces recherches a montré que ce n'est pas là une règle absolue. Lors de l'échange entre le radioiodure de sodium et l'iodure d'éthyle la réaction est bimoléculaire si on emploie l'acétonitrile ou l'alcool éthylique comme solvant. D'autre part, dans l'échange d'iode entre le paraiodophénol et l'iodure de sodium actif, l'addition en para d'un substituant attractif tel que NO_2 sur l'iodobenzène rend la réaction bimoléculaire alors qu'un substituant répulsif ne change pas l'ordre de la réaction.

⁂

Nous avons dit, en parlant des buts de l'étude des réactions d'échange isotopiques, qu'elles constituaient fréquemment un moyen aisé pour marquer des composés organiques, et l'extension de cette idée nous servira de conclusion. En effet, lors d'études biologiques, physiologiques ou même pathologiques, il est intéressant de disposer de molécules organiques complexes marquées. Or, la synthèse chimique de ces molécules (telles que les phospholipides, les nucléoprotéides, etc.) est très laborieuse, parfois impossible. On fait alors appel dans de nombreux cas à ce que l'on pourrait appeler une synthèse directe, *in vivo*, un organisme intermédiaire étant amené, après ingestion ou absorption d'un radioélément donné, à synthétiser par les voies physiologiques normales une molécule organique marquée dont la récupérati‹n ou l'extraction de l'organisme est beaucoup plus aisée que ne le serait la réalisation *in vitro* de la synthèse chimique totale. De telles études ont été effectuées entre autres avec le phosphore 32, isotope radioactif du phosphore, émetteur β d'énergie maximum 1,712 MeV et de période 14,30 jours. Mais il nous faudrait ouvrir maintenant un des chapitres les plus intéressants et les plus prometteurs des investigations biologiques actuelles, et cela nous entraînerait trop loin.

Nous avons donc vu ce qu'étaient les réactions d'échange isotopique, leurs buts et leurs moyens. Des exemples nous ont montré la catégorie très vaste de phénomènes où elles interviennent. Elles sont déjà sorties du domaine théorique où elles étaient cantonnées initialement pour se mettre au service de la recherche dans les domaines les plus divers, de la chimie-physique à la médecine.

CATHERINE et MICHEL GRENON.

Pour le placage de l'or

La revue *Techniques mondiales* (novembre-décembre 1953) a signalé un nouveau procédé pour le placage électrique de l'or sur des produits industriels divers. La méthode habituelle pour plaquer des dépôts épais de 2 à 100 μ utilise un bain chaud de cyanide et nécessite le brossage et le polissage des pièces par intermittence, opération coûteuse ; les dépôts obtenus sont en outre à gros grains et des épaisseurs exactes sont difficiles à réaliser.

Le nouveau procédé, qui élimine ces difficultés, consiste à effectuer le dépôt avec un électrolyte à basse température ayant une concentration en or de 30 g de métal pour 5 l ; la solution est agitée mécaniquement et le bain est soumis à des densités de courant normales. On obtient ainsi des dépôts d'épaisseurs bien déterminées. Les qualités protectrices du dépôt d'or, sa basse résistivité électrique et sa haute résistance à l'oxydation, aux attaques par les sels et à la corrosion, jointes également à l'aspect luxueux de la présentation des produits traités, rendent ce procédé très intéressant pour la protection des pièces de métal précieux ou de haute précision.

LA DIFFRACTION DES ÉLECTRONS

2. Applications cristallographiques diverses

Ayant rappelé dans un premier article (1) les bases théoriques et expérimentales de l'analyse électronique, le professeur J.-J. Trillat, directeur du Laboratoire de rayons X du C. N. R. S., va en montrer quelques applications parmi les plus intéressantes, en commençant ici par les applications à la cristallographie et à la métallurgie.

★

Détermination des structures cristallines et de leurs modifications. — La diffraction électronique a été utilisée à de nombreuses reprises en vue de recherches sur la structure cristalline ; la technique est plus délicate que pour les rayons X, aussi n'a-t-elle été utilisée dans ce but que dans des cas exceptionnels, comme par exemple celui des corps aisément obtenus en lames très minces comme le mica, le soufre, certains métaux ou corps organiques. La figure 1 montre un diagramme de mica ; les taches de diffraction, extrêmement nombreuses, représentent la « figure réciproque » du plan réticulaire du cristal placé perpendiculairement au faisceau d'électrons. Si la lame de mica est extrêmement mince, de telle sorte que son épaisseur puisse être considérée comme négligeable, le diagramme obtenu est celui d'un réseau à deux dimensions où n'interviennent que deux conditions d'interférences. Un tel diagramme est inobservable avec les rayons X. Lorsque l'épaisseur de la lame augmente, et ne peut plus être considérée comme négligeable, il intervient une troisième condition d'interférence qui se traduit par la disparition ou l'affaiblissement d'un grand nombre de taches : on se rapproche alors du cas des rayons X.

Le soufre obtenu en lame mince par évaporation à partir d'une solution de sulfure de carbone donne lieu à de très beaux clichés (fig. 2), d'où l'on peut déduire la topographie atomique des divers plans réticulaires ; en outre, le chauffage progressif dans le vide permet de suivre la transformation brusque du soufre orthorhombique en soufre monoclinique. Le phénomène, particulièrement brillant, est visible sur l'écran fluorescent d'une façon parfaite.

Mais ce sont surtout les modifications de structure des métaux qui ont donné lieu à de nombreuses études, parce qu'il est aisé de préparer ces corps sous forme de feuilles très minces donnant lieu à des diffractions intenses.

Si le film est constitué de très fins cristaux présentant toutes les orientations possibles, on obtient un diagramme composé d'anneaux concentriques (fig. 3) d'où il est facile de tirer la structure cristalline — ici cubique à face centrée — ainsi que la dimension de la maille élémentaire, résultats qui confirment d'ailleurs ceux qu'apportent les rayons X.

Dans le cas où la feuille métallique a été obtenue par laminage ou martelage, ces dernières opérations ont eu pour effet d'écrouir le métal, c'est-à-dire de provoquer la brisure des cristaux métalliques et leur orientation suivant une ou plusieurs directions privilégiées, et ceci d'autant plus que le traitement mécanique a été plus poussé. Si l'on fait traverser une telle feuille par un fin faisceau d'électrons monocinétiques, le diagramme obtenu reflétera cette disposition orientée des petits cristaux élémentaires ; on obtient alors un cliché (fig. 4) sur lequel figureront des arcs de cercle plus ou moins étendus, et la mesure de la longueur et de la position de ces secteurs permet de déterminer le degré de fibrage du métal examiné, ainsi que le mode d'orientation des cristallites ; renseignement intéressant, car il est en relation directe avec les propriétés mécaniques du métal.

Si le métal est peu plastique et plus dur, comme le platine, l'analyse électronique met en évidence la présence de cristaux uniques (fig. 5).

On sait que le recuit a pour rôle de faire disparaître les phénomènes d'orientation privilégiée des cristaux résultant d'une action mécanique préalable telle que le laminage, l'étirage, l'emboutissage, le martelage. A mesure que la température s'élève, les cristaux orientés se disposent au hasard, en même temps qu'ils grossissent ; et de ce fait, la structure du métal redevient homo-

1. La diffraction des électrons : 1. Bases théoriques et expérimentales, *La Nature*, n° 3227, mars 1954, p. 89.

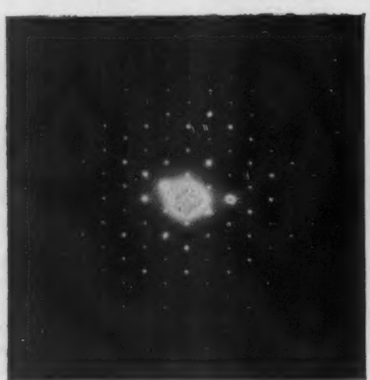
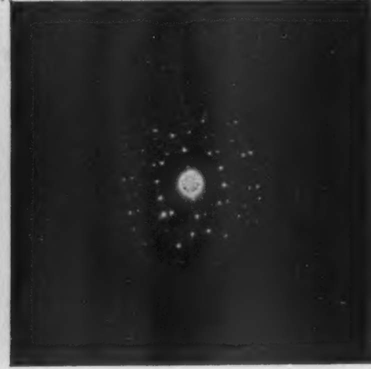
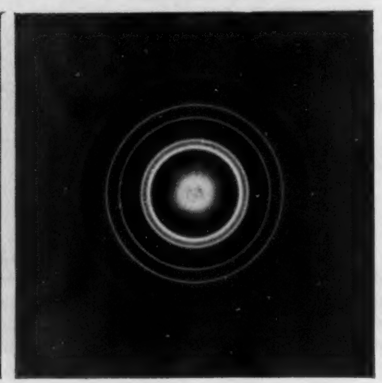
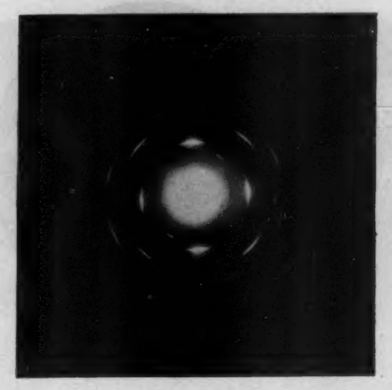
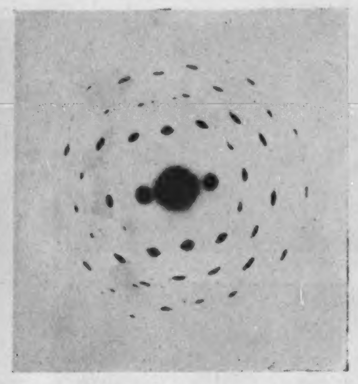




Fig. 1, 2, 3. — *De gauche à droite :* ***Diagramme de mica (deux dimensions) ; Soufre (cristal unique) ; Aluminium (cristaux disposés au hasard).***





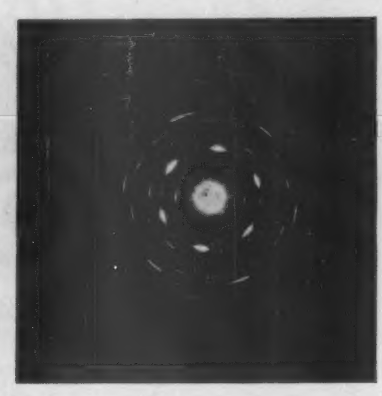


Fig. 4, 5, 6. — *De gauche à droite :* ***Aluminium laminé (structure fibreuse) ; Platine (cristal unique) ; Dépôt de bismuth fortement orienté.***

gène, c'est-à-dire que sa résistance prend une valeur comparable dans les différentes directions, ce qui n'est pas le cas lorsqu'il présente une structure fibreuse. Le diagramme (fig. 7) montre l'aspect de la diffraction électronique pour une feuille métallique recuite ; ce cliché se rapporte à un gros grain provenant de la recristallisation et diffractant le faisceau d'électrons.

Entre les deux étapes marquées par les clichés précédents, il existe toute une gamme de structures intermédiaires : l'analyse électronique permet de suivre directement cette évolution, en effectuant par exemple le recuit de l'échantillon à l'intérieur même de l'appareil, grâce à un petit four électrique fonctionnant dans le vide. Dans ces conditions, on peut suivre sur l'écran fluorescent et à chaque instant la réorganisation des cristaux et leur évolution. Pour la première fois, on arrive ainsi à voir en quelque sorte « vivre » sous nos yeux le métal avec ses atomes et ses cristaux ; on peut également suivre le passage spontané en fonction du temps de l'état colloïdal à l'état cristallisé.

Il est évident que cette technique peut rendre de grands services au métallurgiste qui pourra désormais étudier d'une façon extrêmement précise toutes les modifications, même les plus minimes, apportées au métal par des traitements thermiques divers ; en disant cela, je pense particulièrement aux phénomènes de durcissement structural des alliages légers ainsi qu'à la cémentation de l'acier, dont je donnerai plus loin quelques exemples.

Étude de la structure des dépôts métalliques. — Il est intéressant de connaître la structure de dépôts métalliques effectués par les divers procédés tels qu'électrolyse, pulvérisation cathodique, évaporation thermique, etc. Il est en effet certain que, suivant les conditions opératoires, la cristallisation s'effectue de façon différente et que les propriétés du dépôt en sont affectées. Là aussi, l'analyse électronique apparaît comme la méthode de choix — la seule d'ailleurs lorsqu'il s'agit de dépôts très minces — et elle présente un intérêt considérable pour nombre d'industries comme celle des dépôts électrolytiques ou thermiques.

Supposons que l'on produise par vaporisation thermique une mince couche de bismuth, d'antimoine ou d'arsenic sur un film de nitrocellulose servant de support et qu'on examine aux électrons la lame ainsi obtenue. Le dépôt frais est amorphe ; en observant la figure de diffraction sur l'écran fluorescent, on constate que des plages

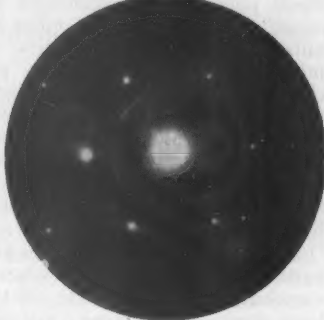


Fig. 7. — ***Cristal unique d'or (recristallisation par recuit).***

cristallines apparaissent au bout de quelque temps, et après quelques heures le dépôt entier est cristallisé ; les cristallites ne sont d'ailleurs pas orientés au hasard, mais tendent à former un seul cristal très plat dont un axe est normal au plan du film (fig. 6).

Étude de l'oxydation superficielle et de l'adsorption. — Suivant que le recuit d'un métal s'effectue dans l'air (ou dans un gaz inerte, azote, argon), il peut y avoir fixation de gaz, par suite d'une oxydation superficielle ou encore d'une adsorption.

C'est ainsi par exemple qu'une feuille d'or — métal réputé pourtant inoxydable — recuite une heure à 500° C à l'air donne naissance à un diagramme électronique provenant d'une oxydation superficielle absolument indécelable par tout autre procédé, et qui est en réalité due à l'oxydation des traces de cuivre contenues dans le métal ; en opérant par réflexion, sous incidence presque tangentielle, on peut suivre aussi la formation d'oxydes sur des métaux divers et en déterminer la composition et la formule chimique, en particulier pour l'aluminium et les aciers au chrome nickel, ce qui ouvre la voie à l'étude du problème si important de la corrosion (fig. 8).

Il a été aussi possible de suivre l'apparition et la formation des divers oxydes sur les métaux ou alliages les plus variés en fonction de la température et d'en tirer d'importantes applications industrielles (Guibransen, Trillat, etc.).

On peut aller encore plus loin dans ces applications. Ainsi, en chauffant dans des gaz inertes ou dans le vide des métaux divers, bien au-dessous de leur point de

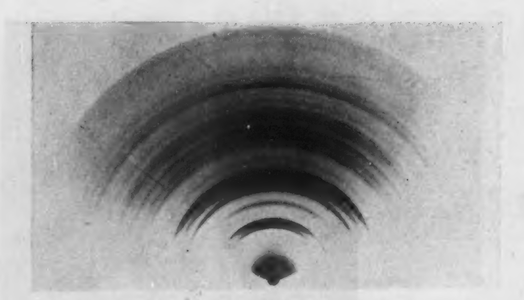


Fig. 8. — *Laiton oxydé (méthode par réflexion).*
Les clichés en noir sur blanc sont des négatifs.

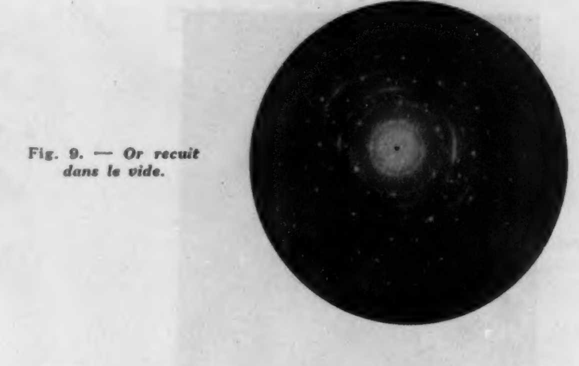


Fig. 9. — *Or recuit dans le vide.*

fusion, on constate l'apparition de diagrammes électroniques d'un type nouveau (fig. 9) qui indiquent que, par suite de l'agitation thermique, les atomes superficiels du métal moins liés que les autres se sont détachés de la masse pour venir se regrouper en un réseau hexagonal superficiel à la façon de billes roulant sur le drap du billard. Et ceci est en relation directe avec les phénomènes de catalyse hétérogène, puisque l'on sait qu'un chauffage modéré de certains catalyseurs les rend inactifs ; l'analyse électronique montre que ce chauffage, en détachant les atomes superficiels les moins liés et par conséquent les plus actifs au point de vue adsorption, et en les regroupant en un réseau, diminue l'énergie superficielle et par suite l'activité catalytique (J.-J. Trillat et S. Oketani).

G. I. Finch a montré que des gaz même inertes peuvent aussi se fixer par adsorption à la surface des métaux où ils viennent en quelque sorte cristalliser ; c'est-à-dire que leurs atomes se disposent d'une façon tout à fait régulière et périodique au sein du réseau du métal, en formant une sorte de combinaison instable détruite par la chaleur. Il est certain que ce phénomène présente un grand intérêt quant au processus de l'adsorption des gaz par les métaux.

Du même point de vue, il convient de signaler les travaux de G. P. Thomson qui s'est attaqué à ce problème si important de la structure superficielle des métaux en relation avec leur activité catalytique. Thomson a pu montrer, en étudiant des dépôts de platine obtenus par pulvérisation cathodique, que l'activité du métal dépendait de la méthode de préparation et donc de la structure cristalline de celui-ci ; il apparaît qu'une grande activité catalytique s'accompagne d'une structure cristalline imparfaite, résultat que nous avons également mis en évidence, et dont nous verrons plus loin une autre conséquence.

Applications à la métallurgie. — La diffraction électronique permet maintenant de suivre et de contrôler un certain nombre de réactions d'intérêt industriel, comme par exemple la cémentation du fer. On sait que ce procédé consiste à durcir superficiellement le métal par la formation d'un composé Fe_3C nommé cémentite ; ce durcissement est obtenu par diverses méthodes, comme par exemple l'action de l'oxyde de carbone pur ou mélangé à de l'hydrogène.

En partant d'un échantillon de fer pur soumis à l'action du gaz CO ou du mélange CO + H_2 il est possible de déceler par diffraction électronique la formation d'oxydes, de cémentite Fe_3C, de graphite, et de déterminer leurs domaines de stabilité ; en présence d'hydrogène, apparaissent des carbures du type Fe_2C dont l'existence présente une grande importance, notamment pour les synthèses organiques effectuées à partir d'oxyde de carbone et d'hydrogène en présence d'un catalyseur fer. Les clichés effectués dans notre laboratoire représentent les diagrammes ainsi obtenus (fig. 10, 11, 12) ; le cliché de la figure 11 permet de déduire avec une grande précision la structure cristallisée de la cémentite.

De plus, on peut préparer des cristaux uniques de fer extrêmement minces et suivre l'apparition de la cémentite aux dépens de ce cristal, et en déduire ainsi les relations d'orientation entre le fer et le carbure Fe_3C (J.-J. Trillat et S. Oketani).

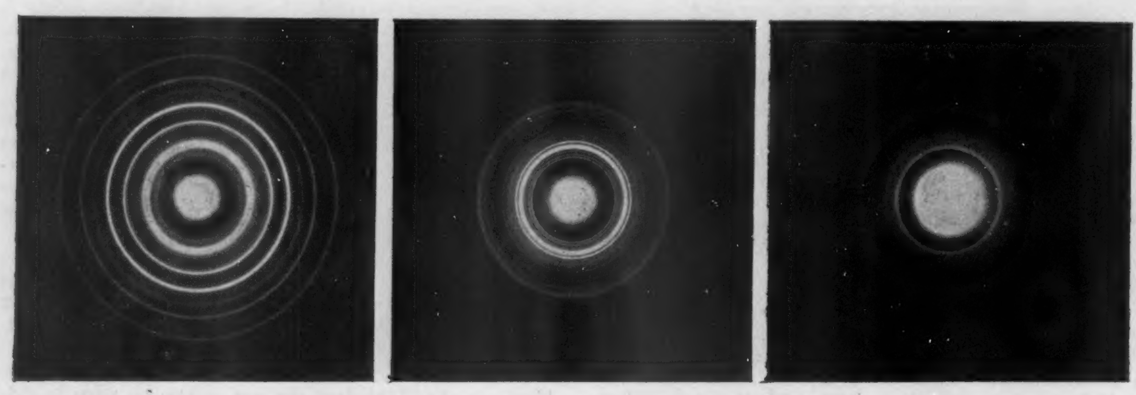


Fig. 10, 11, 12. — *De gauche à droite :* ***Fer pur (fer α) ; Cémentite (Fe_3C) ; Graphite provenant de la décomposition de la cémentite.***

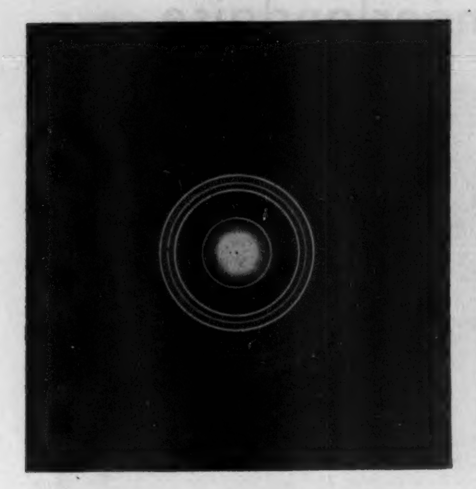


Fig. 13. — *Composé $CuAl_2$.*

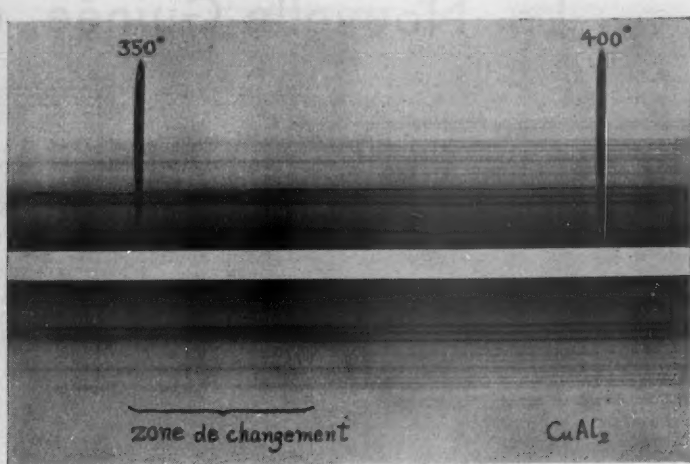


Fig. 14. — *Précipitation de $CuAl_2$ au cours du durcissement structural de l'alliage aluminium-cuivre.*

C'est la première fois que l'on a pu observer par diffraction électronique ces phénomènes, et la méthode utilisée paraît de nature à apporter d'importants renseignements en sidérurgie.

Dans le domaine des alliages légers, la diffraction électronique fournit aussi une intéressante contribution. Ainsi, en examinant des films constitués d'atomes de Cu et Al en proportions variables, il nous a été possible d'étudier et de préciser la structure des phases correspondant aux différentes régions du diagramme d'équilibre cuivre-aluminium. De nombreux résultats nouveaux ont été obtenus, concernant notamment la structure de certains constituants ; de plus, on a réussi à étudier l'évolution de ces alliages en fonction de la température, ainsi que le phénomène de durcissement structural qui est à la base de l'emploi industriel de ces alliages, notamment dans les industries aéronautiques. La figure 13 montre la structure de la combinaison $CuAl_2$ qui joue un rôle essentiel dans le durcissement structural (J.-J. Trillat et N. Takahashi).

Ces méthodes ont été récemment perfectionnées (Boetcher-Trillat) en les adaptant à un enregistrement continu des transformations de structure d'une préparation, en fonction de la température. On obtient alors des résultats d'un grand intérêt, qui permettent d'étudier toutes les modifications qui surviennent dans ces conditions, et en particulier l'apparition des diverses phases des diagrammes d'équilibre des alliages avec toutes leurs particularités (troubles d'homogénéité précédant la précipitation d'un composé défini ; passage d'une solution solide à une phase définie ; phénomènes d'ordre et de désordre, surstructure, etc.).

La figure 14 montre le diagramme donné par cette nouvelle technique au cours de la formation du composé $CuAl_2$ à partir de la solution solide Cu-Al ; le même procédé s'applique aussi à de très nombreux autres cas, tels que l'étude des transformations allotropiques (cobalt hexagonal en cobalt cubique, fer α en fer γ, etc.), du passage de l'état amorphe à l'état cristallisé, et des réactions chimiques superficielles (oxydation des métaux, nitruration, carbonatation, déshydratation, etc.). Il semble dès à présent que cette méthode nouvelle soit susceptible d'ouvrir un champ d'investigation considérable, de nature à fournir des renseignements importants dans des cas très variés et touchant aussi bien à la recherche fondamentale qu'à la recherche appliquée.

•
• •

Telles sont les principales applications de l'analyse électronique à la cristallographie et à la métallurgie. Nous examinerons dans un dernier article diverses autres applications physico-chimiques.

(*à suivre*).

J.-J. Trillat,
Professeur à la Sorbonne,
Directeur du Laboratoire
de Rayons X du C. N. R. S.

Contre le bleuissement du bois

Le bleuissement constaté dans l'aubier de plusieurs espèces, surtout les conifères et le peuplier, est dû à un champignon du genre *Cerastomella ;* ce champignon n'attaque pas la cellulose ni la lignine et ne diminue donc pas la résistance du bois, mais il déprécie son aspect et par suite sa valeur commerciale. D'après les essais effectués au Laboratoire de l'Institut national du Bois à Paris, des remèdes préventifs ont pu être mis au point pour éviter ces attaques : dessévage dans l'eau lorsque le débit immédiat est impossible ; comme remèdes chimiques : projection de pentochlorophénol sur les grumes ou traitement du bois scié au pentochlorophénate de sodium. Ces produits attaquant les mains, il est recommandé d'opérer avec des gants de caoutchouc.

L'expansion des industries chimiques

Au cours de la « Journée de la Chimie » qui s'est tenue à Paris en octobre dernier M. Hubon, conseiller du Commerce extérieur, a dressé un tableau du développement de l'industrie chimique dans les récentes années. Depuis 1938, sa production a quadruplé dans le monde et sextuplé aux Etats-Unis, alors que celle de toute l'activité industrielle a seulement doublé. Les Etats-Unis estiment que 40 pour 100 de leur chiffre d'affaires en produits chimiques provient de fabrications qui n'existaient pas en 1938.

Signalons à ce propos que la 124e session annuelle de l'American Chemical Society, tenue récemment à Chicago, a fêté l'adhésion de son 70 000e sociétaire, se plaçant ainsi en tête des sociétés scientifiques et techniques du monde entier.

La Nouvelle-Guinée néerlandaise

La Nouvelle-Guinée est l'une des régions qui restent à l'heure actuelle parmi les plus mal connues du globe, une des dernières « taches blanches » des cartes géographiques. Son exploration n'est pas terminée, les ressources minérales doivent être encore inventoriées pour la plupart, la mise en valeur ne fait que commencer...

A vrai dire, il s'agit surtout de la partie néerlandaise de cette île, car l'autre partie avait été davantage explorée par les Anglais et les Allemands (avant 1914) : les Néerlandais avaient un peu négligé cette possession pour faire porter leurs efforts sur Java et, à un titre moindre, sur les autres îles de la Sonde. Mais tout a changé depuis la déclaration de l'indépendance indonésienne, au lendemain de la guerre (1949); la Nouvelle-Guinée a été exceptée de l'accord signé à ce moment et elle reste confiée à l'administration néerlandaise. Mais l'Indonésie revendique cette région, ethniquement cependant bien différente de l'Insulinde, et aucune solution n'apparaît en vue.

La Nouvelle-Guinée est la plus grande île du monde, après le Groenland, avant Bornéo et Madagascar; sa superficie semble avoisiner 800 000 km² (831 000 d'après Privat-Deschanel, *Géographie Universelle*, 1928; 803 000 selon Froidevaux, tome IV de la *Géographie Bong*, 1910). La partie néerlandaise s'étend à l'ouest du 141° E. de Greenwich et couvre exactement la moitié de la surface totale : 416 000 km² selon Privat-Deschanel. En 1885 un traité conclu avec la Grande-Bretagne et l'Allemagne délimita le partage de l'île entre les trois puissances : la zone Nord-Est, alors dévolue à l'Allemagne, fut administrée par l'Australie après 1919.

Il semble que ce soit un Portugais qui puisse revendiquer l'honneur de la découverte de l'île, vers 1525; le nom de Nouvelle-Guinée lui aurait été donné vers le milieu du XVIe siècle par un explorateur frappé du teint foncé des habitants, qu'il rapprochait des Noirs d'Afrique. Plus tard, le nom de Mélanésie, qui devait s'appliquer à la partie du Pacifique qui va de la Nouvelle-Guinée aux Nouvelles-Hébrides, évoquera également le teint noir (en grec : *mélas*) de ses habitants (les Papous). Mais les découvertes restèrent, jusqu'au XVIIIe siècle, limitées

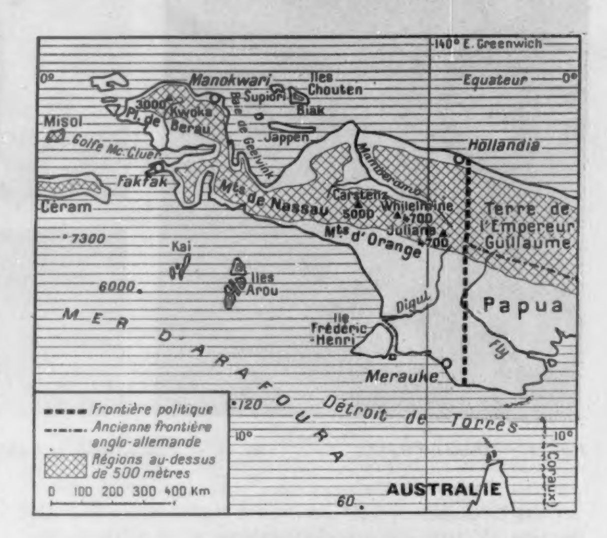


Fig. 1. — *La Nouvelle-Guinée néerlandaise.*

à la côte septentrionale et l'on crut que c'était une dépendance de l'Australie. Cook, en 1770, franchit le détroit de Torrès et révéla ainsi l'insularité de la Nouvelle-Guinée. Au XIXe siècle, les relevés des côtes furent nombreux et précisèrent les contours étranges du pays, semblable à un gigantesque dindon regardant vers l'ouest et tendant le cou démesurément... Parmi les marins qui participèrent à ces travaux d'exploration, il convient de signaler les nom des Français d'Entrecasteaux, Duperrey, Dumont d'Urville.

Depuis le traité de 1885, les Néerlandais ont cherché à dresser une carte exacte de leur possession, grâce aux voyages de De Clercq, Wichmann, Kremer, et aux missions envoyées par les savants de l'Université de Leyde, spécialisée aux Pays-Bas dans les études coloniales. Actuellement, avec la perte de l'Indonésie, un regain d'intérêt se manifeste chez les Néerlandais pour la Nouvelle-Guinée, pays « neuf » qui a échappé au naufrage de leur empire colonial; région aux ressources peut-être importantes... Il s'en faut néanmoins que les connaissances géographiques soient complètes encore aujourd'hui.

L'originalité, en tout cas, éclate à de nombreux points de vue par rapport aux régions voisines. Retenons seulement les altitudes des sommets qui jalonnent l'ossature montagneuse est-ouest : le pic Carstenz (fig. 2) dépasse 5 000 m, le pic Wilhelmine et le pic Juliana 4 700. Pour retrouver de pareils géants, il faut aller jusqu'à l'Himalaya vers l'ouest, jus-



Fig. 2. — *Le pic Carstenz (5 040 m).*
(Photos Section de Presse de l'Ambassade des Pays-Bas).



Fig. 3. — *Vue prise à 700 m d'altitude sur la haute vallée de la Rivière Rouffaer dans les monts de Nassau.*

qu'à la Cordillère des Andes vers l'est. Les neiges éternelles existent à partir de 4 500 m, ce qui rappelle le Kenya et le Kilimandjaro, semblablement situés sous l'équateur; des névés se sont nichés dans des cavités abritées. L'importance des précipitations équatoriales, abondantes toute l'année, explique la présence de ces blanches cîmes qui, dès 1623, frappaient le navigateur Jan Karstenzoon. Certains névés descendraient même jusqu'aux environs de 4 000 m, ce qui paraît exceptionnel à une telle latitude. S'il n'existe plus, en tout cas, de glaciers véritables, leur rôle ancien est attesté par des roches striées.

Au-dessous de cette zone glaciaire et nivale s'étendent des sortes de prairies moussues auxquelles font suite, vers 3 800 m, les arbres de la grande forêt équatoriale (fig. 3), dont les premières avant-gardes sont constituées par les fougères et les rhododendrons. Cette exubérante forêt a maintes fois été décrite en Afrique et en Amazonie; elle est représentée en pleine puissance ici, particulièrement entre 0 et 2 000 m. Robequain (*Le Monde malais*) la montre, identique à la forêt de Malaisie et de Bornéo, « forêt constamment verte, mais de verts très nuancés,... [avec] sa masse oppressante, ses longs silences diurnes, ponctués par les cris brefs ou les hurlements prolongés des singes, et par la chute de lourdes gouttes de rosée, froissés par le vol de quelques oiseaux, pigeons, perruches ou calaos ». On peut ajouter « et oiseaux de paradis », dont la Nouvelle-Guinée est le principal asile. Sur la côte s'étend la mangrove amphibie aux innombrables palétuviers.

Néerlandais et Indonésiens se renvoient mutuellement des arguments tirés de la flore et de la faune pour repousser ou pour revendiquer l'inclusion de la Nouvelle-Guinée dans la République Indonésienne. Si Wallace, le disciple de Darwin, prétendait vers 1860 que la ligne de séparation entre flore et faune océanienne (et australasienne) et flore et faune asiatique passait entre Lombok et Bali, et entre Célèbes et Bornéo, d'autres savants ont par la suite combattu cette opinion : Cheesman, par exemple, cité par Robequain (*op. cit.*), déclarait en 1940 que la Nouvelle-Guinée possédait une flore et une faune à caractères plus asiatiques qu'australasiens (malgré la présence de quelques espèces nettement australiennes, comme un petit kangourou).

Sur le plan de l'ethnographie, la difficulté semble moindre; les Papous (la Nouvelle-Guinée est souvent appelée « Papouasie ») sont des Mélanésiens bien différents des Malais des Iles de la Sonde. Mais historiquement, les princes malais des îles orientales de l'archipel avaient étendu leur suzeraineté sur les indigènes de la Nouvelle-Guinée voisine, suzeraineté théorique d'ailleurs le plus souvent. L'appartenance, en tout cas, des indigènes papous à un monde ethnique différent du monde malais a été la principale raison du maintien de la Nouvelle-Guinée sous l'administration néerlandaise.

Le niveau de civilisation des tribus autochtones est resté très primitif : certains individus, dans l'intérieur, petits comme des Pygmées, ignorent encore l'usage des métaux, le tissage, l'art de la poterie. Les « chasseurs de têtes » existent toujours dans les districts éloignés. La culture sur brûlis (*ladang*) analogue au *ray* des Moïs indochinois, bien qu'officiellement interdite, reste couramment pratiquée. Les cases sur pilotis sont la forme la plus fréquemment rencontrée de l'habitation (fig. 4).

Quel est le nombre des indigènes dans la *Nieuw Guinea* néerlandaise ? Il est difficile de répondre avec certitude : Privat-Deschanel avançait, il y a trente ans, le chiffre de 195 000; une évaluation néerlandaise récente porte ce chiffre aux alentours du million, dont 350 000 seraient rattachés à une admi-



Fig. 4. — *Habitations indigènes sur pilotis à Meto Debi.*



Fig. 5 — *Femmes papoues.*

nistration « plus ou moins régulière ». Les Néerlandais sont 13 000, venus soit d'Indonésie, soit directement des Pays-Bas. Le but de l'administration est l'élévation du niveau social, intellectuel, économique et culturel des Papous, mais en évitant toute introduction brutale de la civilisation occidentale, qui pourrait se révéler néfaste pour des populations aussi peu évoluées.

Depuis les événements de 1945-1949 qui ont vu la proclamation de l'indépendance indonésienne, nombreux sont les Indo-Néerlandais venus se fixer comme colons en Nouvelle-Guinée; la plupart sont établis près de Manokwari, dans la presqu'île de Berau; d'autres se trouvent à Sarmi et Hollandia, près de la frontière orientale. La prospection minière n'a longtemps recherché que l'or. Dans les années qui ont précédé 1939, une société néerlandaise à capitaux américains avait entrepris une étude systématique des possibilités minières. Jusqu'à présent, seul le pétrole a fourni des encouragements : la Compagnie néerlandaise des Pétroles de Nouvelle-Guinée a son siège à Sorong, dans le Vogelkop (« tête d'oiseau », extrémité occidentale de l'île).

Le principal port est Merauke, sur la côte sud; d'autres, moins importants, se situent sur la côte nord et dans les îles proches, et sont desservis par caboteurs. La flotte de cabotage, détruite sous l'occupation japonaise et au cours des opérations militaires, est actuellement reconstituée; les produits d'exportation sont le coprah, les gommes et résines, ainsi que les peaux de crocodile. Un plan d'extension et de création de zones agricoles en vue de l'exportation (caoutchouc, produits coloniaux divers) est à l'étude. En ce qui concerne le développement du niveau de vie des indigènes, et avant tout de leurs résultats agricoles, notamment pour les cultures vivrières, un plan vient d'être expérimenté dans une région-témoin, celle de la plaine de Nimboran, au sud-ouest de Hollandia : ainsi



Fig. 6. — *Pirogues indigènes sur la Rivière Lorentz.*

on espère augmenter les rendements et améliorer la situation économique et sociale des autochtones. Les enseignements tirés de ce premier plan serviront ensuite pour les autres régions.

Mais il importe, pour atteindre ce développement général, que l'administration contrôle le territoire entier. Un effort est déployé en ce sens; pour la seule année 1952, le nombre des sous-sections (circonscriptions) est passé de 12 à 19. L'instruction des indigènes, à laquelle s'emploient activement les missionnaires, est en grand essor : on dénombre 521 écoles de village fréquentées par 25 000 élèves papous. Dans des agglomérations plus importantes, on compte 12 écoles complémentaires (dont 5 pour jeunes filles) qui reçoivent près de 1 000 élèves. Hollandia possède une école professionnelle pour les travaux du bois et du métal (200 élèves papous), une école d'administration (40 élèves), une école primaire supérieure (80 élèves), et une école de préparation à l'entrée dans la police (90 élèves).

Une certaine part vient d'être donnée à la population autochtone dans la gestion des affaires, avec l'institution en 1952 de trois « conseils consultatifs » pour les districts Nord, Ouest, et Sud, conseils où les représentants papous sont en majorité. Ainsi la Nouvelle-Guinée, longtemps parente pauvre des Indes néerlandaises, est engagée sur la voie du développement économique et social. Les timides débuts auxquels nous assistons aujourd'hui sont riches de promesses. Mais que les ethnologues se hâtent, avant que disparaisse l'originalité ancestrale du monde papou !

P. Wagret.

Les photographies qui illustrent cet article nous ont été obligeamment communiquées par la Section de Presse de l'Ambassade des Pays-Bas à Paris.



Fig. 7. — *Un Papou de Salawati.*

Le Fouga CM 170 R « Magister » avion bi-réacteur d'entraînement militaire

Le pilotage des avions d'armes à réaction qui atteignent et dépassent même, en piqué, l'impressionnante vitesse de 1 000 km/h, nécessite, cela va sans dire, un entraînement extrêmement sévère, progressif et méticuleux de la part de ceux qui sont amenés à les conduire dans toutes les positions et servitudes de combat. Jusqu'ici, l'utilisation d'appareils « déclassés », c'est-à-dire considérés comme périmés dans l'effectif des escadres de chasse, a pallié le manque d'avions à réaction spécialement conçus pour l'école et l'entraînement. Le pilote doit alors manier, dès le début de sa formation, un appareil du même type que celui dont il aura plus tard les commandes en mains; solution désavantageuse car au départ, sans entraînement, l'élève doit s'adapter à un avion trop rapide et trop lourd et ne recueille pas le bénéfice d'une formation plus rationnellement progressive. De surcroît, l'utilisation, comme avions d'école, d'appareils déclassés se révèle particulièrement onéreuse.

Les états-majors, en France comme dans les pays alliés, se sont, dès le début, parfaitement rendu compte des inconvénients nés de l'absence d'avions spéciaux pour l'école. Il a donc été demandé aux constructeurs d'étudier des types d'appareils répondant aux nécessités de la longue et méthodique formation des pilotes sur avions de chasse à réaction. C'est ainsi qu'ont été créés des prototypes plus légers, moins puissants, donc moins rapides et plus économiques que les appareils de chasse dont sont dotés nos escadres. Dans notre pays, plusieurs modèles ont été présentés à l'occasion du salon de l'Aéronautique en juin 1953. Un des appareils présentés, le bi-réacteur Fouga type CM 170 R dit « Magister » a été choisi par le secrétariat d'État à l'Air, en accord avec le ministre de la Défense Nationale comme chasseur-école à réaction de notre Armée de l'Air. Nous verrons donc sa silhouette se profiler souvent à l'horizon; les figures que nous publions et les indications sommaires qu'on va lire suffiront peut-être à le faire reconnaître.

Résumons d'abord les caractéristiques générales du CM 170 R « Magister » :

Destination : avion à réaction d'entraînement à la chasse.

Propulsion : deux réacteurs Turboméca du type « Marboré II ».

Voilure : monoplan à aile médiane du type « cantilever » à grand allongement de 7,4. Envergure, 11,3 m; surface alaire, 17,3 m²; longueur de l'avion, 9,8 m; hauteur, 2,8 m.

Fuselage de structure « coque », avec disposition en tandem des deux postes de pilotage.

Empennage en V, les plans formant entre eux un angle de 110°.

Atterrisseur du type tricycle, à escamotage hydraulique.

Poids à vide : 1 936 kg.

On peut noter les performances suivantes :

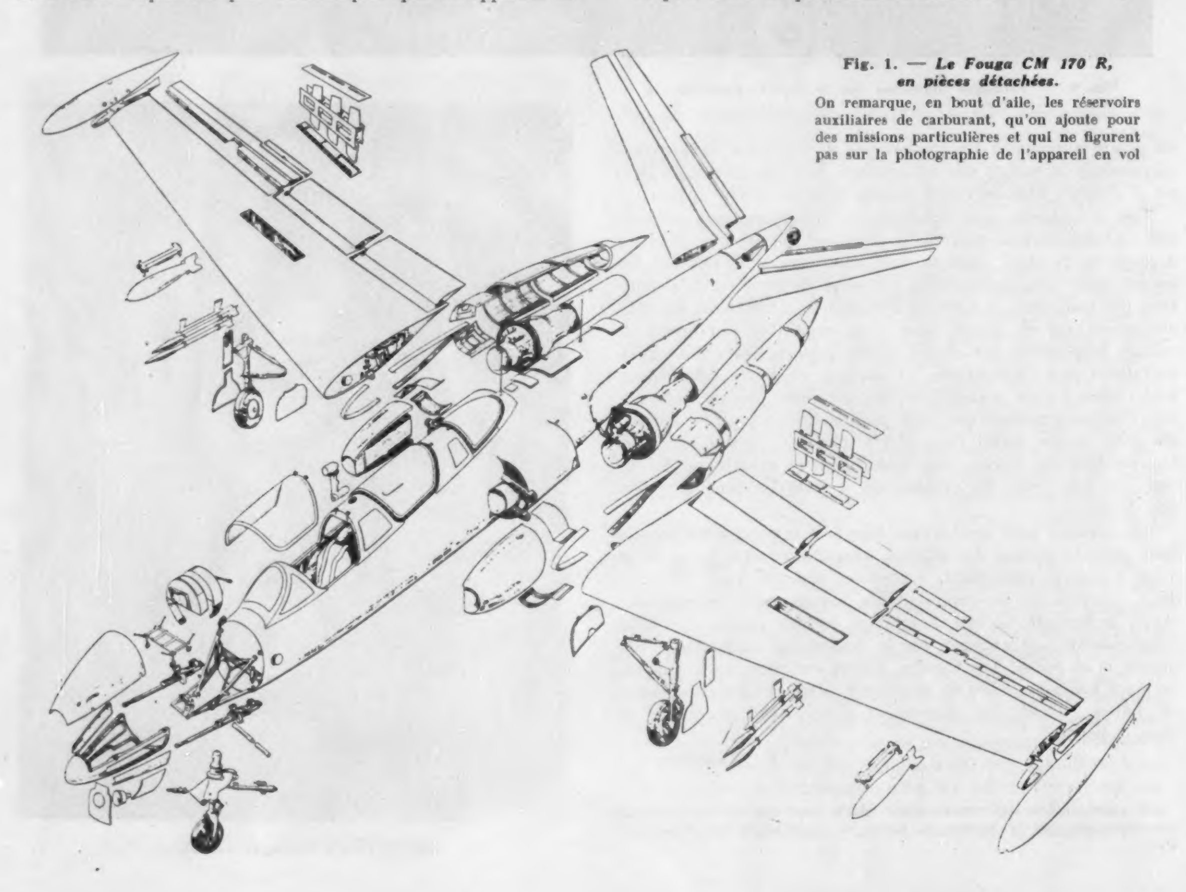


Fig. 1. — *Le Fouga CM 170 R, en pièces détachées.*
On remarque, en bout d'aile, les réservoirs auxiliaires de carburant, qu'on ajoute pour des missions particulières et qui ne figurent pas sur la photographie de l'appareil en vol



Fig. 2. — *Le Fouga CM 170 R « Magister » en vol* (*Photo* DENGREMONT).

Vitesse maximum en palier au sol : 680 km/h;
Temps de montée à 6 000 m : 9 mn 30 s;
Plafond pratique : 10 500 m;
Rayon d'action à 9 000 m : 1 200 km;
Autonomie à 9 000 m : 2 h 40 mn.

Ces performances sont réalisées sans équipements extérieurs.

L'armement comporte : un viseur de tir par poste de pilotage, une lunette périscopique de visée étant adjointe au viseur du poste arrière; deux mitrailleuses de calibre 7,5 mm, logées dans la pointe avant, de part et d'autre du fuselage. Ces mitrailleuses sont alimentées par deux boîtes contenant chacune 200 cartouches; quatre « roquettes » ou deux bombes suspendues sous la voilure (une roquette est une fusée dont l'allumage se déclenche au moment même où elle est larguée de l'avion; grâce à sa vitesse initiale, elle suit une trajectoire très proche de la trajectoire rectiligne, pour l'attaque au sol).

Les missions principales du CM 170 R sont : l'entraînement à l'utilisation du viseur; l'entraînement au tir des mitrailleuses et des roquettes, l'élève disposant de 200 cartouches par mitrailleuse; l'entraînement au pilotage sans visibilité; l'entraînement aux vols en altitude; et le convoyage, avec adjonction de deux réservoirs supplémentaires de 130 l chacun, accrochés en bout d'aile.

Donnons quelques renseignements concernant les organes :

L'aile est du type « monolongeron » avec revêtement travaillant en tôles d'alliage léger. Son bord d'attaque est en légère flèche. Au droit de l'extrémité des volets hypersustentateurs, une rangée d'aérofreins se braque sur l'extrados et l'intrados de l'aile.

Le fuselage porte sur sa partie supérieure une verrière en plexiglas, formée de deux parties mobiles assurant l'accès aux deux postes de pilotage. Ces deux parties, qui sont largables pour l'évacuation en vol, s'ouvrent vers le haut et vers l'arrière.

La pressurisation et le conditionnement de la cabine sont assurés par de l'air comprimé qui est prélevé sur les turbo-réacteurs.

Chaque pilote dispose de toutes les commandes de vol, de freins et de conduite des turbo-réacteurs, la priorité de commande restant assurée au moniteur, installé à la place arrière. La communication entre moniteur et élève s'effectue par un téléphone de bord.

Chacun des deux réacteurs du type « Marboré II » comporte un compresseur centrifuge monoflux à un étage, une turbine axiale également à un étage et une chambre de combustion annulaire avec alimentation par injection centrifuge. Les réacteurs sont logés dans des carénages démontables, en arrière de l'aile, le long du fuselage. Le couloir d'entrée d'air prend naissance en avant du bord d'attaque de l'aile tandis que l'éjection s'effectue de part et d'autre de la partie arrière du fuselage.

La vitesse d'éjection des gaz est de 510 m/s et leur température maximum à la sortie, de 650° C.

L'alimentation des réacteurs est assurée par deux réservoirs de fuselage contenant au total 730 l de kérosène. Un dispositif d'alimentation permet un vol inversé de 30 s.

*
* *

Avec l'excellente visibilité de ses deux postes de pilotage, facilitant la première instruction pour les vols de « patrouille », et la disposition des organes de commande et de contrôle, tout à fait conforme à celle d'un avion à réaction de chasse, l'appareil Fouga CM 170 R permet à l'élève de s'adapter immédiatement et exactement à la conduite des avions d'armes qui lui seront par la suite confiés.

FERNAND DE LABORDERIE.

La préparation continue du béton

L'USAGE des liants pour consolider les constructions est probablement aussi ancienne que l'architecture. Les constructeurs de l'Antiquité employaient déjà l'argile, la chaux, le plâtre et même le bitume pour cimenter les pierres de leurs bâtiments. Les Romains utilisaient un ciment fait de pouzzolane et de chaux. Au Moyen Age et jusqu'à l'époque moderne, les mortiers et autres liants de la maçonnerie se préparèrent d'une façon plus ou moins empirique. C'est seulement à la fin du XVIIIe siècle qu'on peut constater de notables progrès dans ce domaine. En 1796, les chaufourniers britanniques Parker et Wyats, en calcinant des galets très argileux, obtinrent un « béton calcique » qui avait la propriété de durcir sous l'eau puis de se solidifier très rapidement au contact de l'air; ils lui donnèrent le nom de « ciment romain », pour faire croire, sans doute, qu'ils avaient retrouvé un secret que l'on prétendait perdu.

Le premier progrès que l'on peut dire scientifique fut introduit en 1818 par le célèbre ingénieur Vicat qui introduisit la notion d' « hydraulicité » de la chaux et montra comment on pouvait régler cette qualité en modifiant la proportion de l'argile. Quelques années plus tard, en 1824, un industriel écossais, Apsdin, se livra à une étude analogue et aboutit à la fabrication du ciment anglais, dit de Portland, résultant de la cuisson d'un mélange bien homogène d'argile et de calcaire, poussée jusqu'aux approches de la fusion. Depuis lors, les ingénieurs ont mis au point des qualités de ciments extrêmement variées.

Enfin, non plus seulement pour assurer la cohésion des pierres ou des briques, mais pour constituer la masse des constructions elles-mêmes l'ère contemporaine a vu le triomphe du béton, qui est un mélange durci de pierre, de sable et de ciment. Hennebique (1842-1921) imagina le béton armé : le béton est coulé dans des coffrages où se trouvent disposées des armatures en fer, et on pilonne ensuite de manière à remplir tous les espaces intercalaires. A présent, on remplace, la plupart du temps, le pilonnage de la masse bétonnée par l'utilisation de vibrations, soit externes (procédé Freyssinet), soit superficielles (béton vibré), soit internes (béton prévibré).



Fig. 1. — *Une tour à béton de la société « Le Béton rationnel contrôlé », sur le quai de Javel, à Paris.*

Centrales à béton. — On emploie maintenant le béton pour construire des ouvrages aux destinations les plus variées et on a mis au point différentes qualités de béton qui possèdent chacune des propriétés déterminées. Pour répondre exactement à ce qu'on en attend, tous ces mélanges doivent avoir une bonne composition granulométrique, une homogénéité parfaite, un minimum d'eau de gâchage et une compacité maximum. Afin d'assurer au mieux la constance et le contrôle de ces caractéristiques, on a aménagé des usines où le béton peut être préparé d'une façon continue. Ces « centrales à béton » ne diffèrent pas, en principe, des installations de chantier. Ce sont des bétonnières pourvues, d'un côté, d'appareils d'alimentation, d'autre part, de dispositifs d'enlèvement rapide des produits mélangés.

On a construit, en France et à l'étranger, des centrales à béton diversement agencées mais, d'après la revue *Bâtir* (avril 1950), elles peuvent se ramener à deux types, horizontal et vertical. Les installations du type horizontal (système Pellerin) comprennent une série de trémies qui, placées côte à côte, renferment les agrégats et le ciment; des convoyeurs les relient à une ou à plusieurs bétonnières. Dans les installations verticales, les trémies se trouvent à la partie supérieure d'une tour plus ou moins haute d'où agrégats et ciment descendent par gravité dans des appareils de dosage situés au-dessous, puis tombent dans les bétonnières.

Chacune de ces solutions a ses avantages selon les débouchés locaux et toutes deux permettent d'obtenir des bétons de valeur excellente. En France, le type vertical a plus de partisans. Nous allons décrire brièvement la centrale à béton que la société « Le Béton rationnel contrôlé » a installée à Paris, sur un quai de la Seine, afin d'assurer aisément par voie fluviale son approvisionnement en sable et en graviers (fig. 1).

Des grues déchargent les matériaux inertes (sable, gravillon et caillou) qu'on stocke sur la berge du fleuve. D'autre part, la centrale est approvisionnée en ciments de diverses catégories. L'atelier de préparation des bétons se compose d'une tour de 16 m de hauteur comportant, à sa partie supérieure, des silos destinés à recevoir les divers matériaux de fabrication. Un élévateur à godets y monte les ciments, tandis qu'un convoyeur à bande, alimenté par une trémie disposée au niveau du sol et remplie par une grue avec les matériaux nécessaires, y élève les agrégats. Un système de basculeurs et de volets envoie, dans le silo voulu, les matériaux amenés par le convoyeur.

Des silos, les matériaux s'acheminent vers des trémies-bascules qui, munies de grands cadrans gradués à aiguilles, permettent des dosages par pesées. Ces trémies se vident séparément dans une bétonnière, pendant qu'un doseur volumétrique fournit la quantité d'eau nécessaire au gâchage. Cette bétonnière à axe horizontal gâche chaque fois un volume de matériaux égal à la capacité de transport de chaque camion; elle exécute 12 gâchées à l'heure et fournit 200 m^3 de béton par journée de 8 h. Devant elle, un vaste « entonnoir à goulotte » (fig. 2) sert à canaliser le béton vers les véhicules automobiles. Grâce à ces dispositifs, deux ou trois ouvriers suffisent à assurer les manœuvres de l'installation. Enfin, comme chaque gâchée s'effectue séparément, on peut régler à volonté le dosage des éléments constitutifs du mélange et, par suite, alimenter en même temps des chantiers employant des bétons de catégories différentes.

Transport du béton aux chantiers. — L'expérience montre que les bétons sortent d'une centrale bien organisée avec des qualités parfaitement conformes aux desiderata des utilisateurs. Les bétons fournis n'ont, avec les spécifications théoriques



Fig. 2 — *Le béton est chargé dans un « camion-malaxeur » par un « entonnoir à goulotte ».*



Fig. 3. — *Camions-malaxeurs devant une centrale à béton, à Aubervilliers (Seine).*

demandées, que des écarts de 1 pour 100 pour le ciment, de 6 pour 100 pour l'eau, de 3 pour 100 pour les cailloux, de 3,7 pour 100 pour les graviers et le sable.

Cependant, si le béton possède, au départ de l'usine, les qualités requises, il faut qu'il les conserve jusqu'aux lieux d'emploi; on doit pour cela le véhiculer dans des « camions malaxeurs » dont la cuve tourne à raison de quelques tours-minute pendant le trajet et même au cours du déchargement.

La société « Le Béton rationnel contrôlé » utilise des agitateurs bien équilibrés, faciles à emplir comme à vider, et placés sur des châssis courts et robustes. Les véhicules ainsi équipés peuvent transporter le béton par les chemins les plus mauvais à la vitesse horaire de 30 km, ce qui correspond à un trajet d'une heure environ. On ne saurait aller au delà d'une telle distance si l'on veut obtenir une bonne utilisation du mélange transporté. A cette réserve près, le lent malaxage auquel il se trouve soumis en cours de route parfait l'homogénéité du béton qui arrive à pied d'œuvre nettement amélioré.

Aussi, la fabrication continue du béton en usine tend à se généralise aujourd'hui dans le monde entier. L' « Électricité de France » utilise couramment de vastes centrales à béton pour ses grandes constructions. Une énorme installation de ce genre a fourni 300 m³ de béton par heure aux chantiers du barrage de Génissiat. Cet appareillage se distingue par son ampleur et sa remarquable organisation technique. En Angleterre, une centrale à béton fonctionne depuis plusieurs années à Egham, dans la région de Londres. Il en existe aussi au Danemark et aux États-Unis.

JACQUES BOYER.

L'efficacité de l'érythromycine

Un de nos lecteurs, pharmacien et bactériologiste à Oran, a bien voulu nous signaler une erreur dans notre article sur un récent antibiotique, l'érythromycine (n° 3224, décembre 1953, p. 376) : le gonocoque y est mentionné parmi quelques bactéries prenant le Gram et sur lesquelles l'érythromycine est efficace ; or il est bien connu que le gonocoque ne prend pas le Gram, et il semble qu'il soit, en conséquence, résistant à l'érythromycine. D'autre part, notre correspondant signale que des entérites à staphylocoques ont été notablement améliorées par l'emploi du nouvel antibiotique ; il ne faudrait donc pas dire que l'érythromycine « ne touche pas les microbes intestinaux » mais qu'elle ne touche pas la majorité de ces microbes, formée de bacilles à Gram négatif.

Fusées anti-avalanches en Autriche

Les chemins de fer fédéraux autrichiens expérimentent dans la région de l'Arlberg, des fusées destinées à prévenir la formation des avalanches, en détachant progressivement les masses de neige. Les bases de lancement comportent des fondations en ciment armé ; les fusées actuellement expérimentées ont un rayon d'action de 1 500 m, mais, d'après *Rail et Route*, on compte doubler bientôt ce chiffre. Il est envisagé d'étendre ce mode de lutte contre les avalanches aux autres régions montagneuses de l'Autriche.

LES THÉORIES DE L'AUDITION

I. La naissance des théories

L'appareillage scientifique et technique ne saurait être conçu ni étudié indépendamment des réalités physiologiques qui conditionnent son emploi. Ainsi un grand nombre de techniques doivent prendre en considération les caractéristiques de l'œil et la physiologie de la vision : microscopie, colorimétrie, photométrie, photographie, cinéma, signalisation, etc. En dehors de son intérêt propre en biologie, l'ouïe joue sans doute en science pure un rôle moins universel que la vision. En revanche, son étude intéresse le domaine de plus en plus étendu de l'acoustique dont les télécommunications sont en grande partie tributaires, ainsi que des spécialités multiples qui vont de la musique et de la psychologie à l'architecture et à l'urbanisme. Aux exposés consacrés à quelques problèmes essentiels de l'œil et de la vision, qu'a traités ici M. Yves Le Grand, va succéder une série d'articles qu'un physiologiste de l'oreille, M. André Gribenski, a bien voulu écrire pour nos lecteurs. Avant d'aborder l'examen des conceptions modernes, M. Gribenski fera, dans ce premier article, un bref historique des anciennes théories et des connaissances ou des suppositions sur lesquelles elles se fondaient.

★

DEPUIS l'Antiquité, philosophes, médecins et naturalistes se sont demandé comment nous entendons; des philosophes grecs, qui ne connaissaient pas l'oreille interne, aux physiologistes contemporains, qui au contraire ont une connaissance approfondie de la structure de l'oreille et même de certains aspects de son fonctionnement, tous ceux qui ont voulu répondre à cette question l'ont fait en complétant les faits connus par des hypothèses que justifiaient, à leurs yeux, ces faits mêmes; les théories de l'audition sont ces édifices de faits et d'hypothèses qui se sont compliqués à mesure que les phénomènes à expliquer étaient mieux connus, à mesure aussi que progressaient l'anatomie de l'oreille et l'acoustique. Il a toujours fallu, en effet, jeter un pont entre les connaissances acquises dans ces sciences et la psychologie de l'audition; fondées jusqu'au XVIIIe siècle sur l'anatomie macroscopique de l'oreille, d'abord grossière, puis beaucoup plus fine, les théories sont devenues plus ambitieuses et plus précises au XIXe siècle, alors que l'on découvrait et explorait dans ses détails la structure microscopique de l'oreille interne; aujourd'hui encore, de nouvelles théories s'efforcent d'utiliser les apports récents de la physiologie pour expliquer, par exemple, la perception des fréquences et des intensités sonores, et, comme les exigences augmentent à mesure que les explications se perfectionnent, on peut penser qu'il y aura longtemps encore des théories de l'audition.

A la suite du présent exposé, d'autres seront consacrés aux théories qui ont accompagné et suivi, au XIXe siècle, l'essor de l'anatomie microscopique de l'oreille, puis aux théories contemporaines fondées sur les études d'électrophysiologie et de mécanique cochléaire.

L'Antiquité. — Dès le Ve siècle avant l'ère chrétienne, les philosophes grecs savaient que le son est propagation de mouvement dans l'air; connaissant, depuis Pythagore, les lois qui relient les intervalles musicaux à la longueur des cordes vibrantes, ils rapportaient les différences de hauteur des sons à des différences de vitesse des impulsions données à l'air par les vibrations des cordes.

Empédocle et ses contemporains connaissaient aussi le tympan et, semble-t-il, la cavité tympanique et l'air qu'elle contient, auquel ils accordaient une grande importance. Ils pensaient en effet que l'air extérieur en mouvement ne peut avoir d'action sur l'âme que s'il rencontre dans le corps une substance de même nature, de l'air interne; ils croyaient cet air particulièrement pur, et implanté dans l'oreille pendant la vie utérine; telle est la théorie de l'air « implanté » à laquelle l'autorité d'Aristote donna la force de vivre jusqu'au XVIIIe siècle.

Galien (IIe siècle de notre ère), qui a, le premier, décrit les nerfs craniens, connaissait le nerf auditif, et comparait à un labyrinthe l'ensemble des cavités de l'os temporal; il n'est pas certain, cependant, qu'il ait connu l'oreille interne, que nous nommons maintenant labyrinthe. Médecin, Galien a, d'autre part, donné des remèdes pour les maladies de l'oreille et semble avoir mentionné pour la première fois l'opération de la mastoïde.

Les Anciens, on le voit, connaissaient mal la constitution de l'oreille; l'oreille moyenne et l'oreille interne n'étaient en effet pas accessibles à leurs moyens techniques; aussi les explications qu'ils donnaient de l'ouïe étaient-elles pure spéculation.

La Renaissance. — Le Moyen Age n'a rien apporté dans la connaissance de l'oreille, de son fonctionnement et de ses maladies; même chez les médecins arabes de l'École de Salerne (Xe siècle) on ne trouve rien, à ce sujet, qui ne fût connu de Galien. L'anatomie de l'oreille, comme celle de tout le corps humain, a eu sa Renaissance au XVIe siècle, grâce à Vésale et aux grands anatomistes italiens.

Pendant tout le Moyen Age, l'étude de l'anatomie n'était que la lecture et le commentaire des ouvrages de Galien; les dissections de cadavres humains furent en effet très longtemps interdites, comme elles l'avaient été déjà par les religions de l'Antiquité; tolérées à partir de 1300 environ, elles restèrent cependant très rares, et pratiquées d'ailleurs par les barbiers, tandis que les professeurs de médecine, méprisant tout travail manuel, empruntaient toujours leur science à Galien.

Vésale porta les premiers coups à cet enseignement traditionnel; né à Bruxelles, André Vésale (1514-1564) étudia la médecine à Paris et à Louvain, et, grâce au goût très vif qu'il

DE OSSICVLIS AVDITVS ORGA
ni constructionem ingredientibus. Caput VIII.



HVIVS FIGVRAE INDI
cem sequens pagina proponet.

OCTA

Fig. 1. — *L'os temporal et les osselets de l'oreille d'après Vésale* (1543).
On note l'absence de l'étrier, découvert seulement quelques années plus tard.

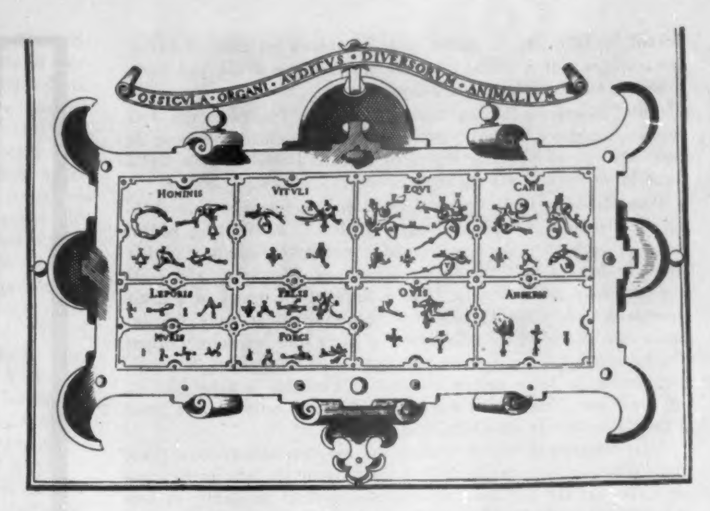


Fig. 2. — *Anatomie comparée des osselets chez l'Homme, divers Mammifères, et l'Oie, d'après Casserius* (1600).

avait pour les recherches faites sur le corps même, il acquit une science anatomique étonnante à cette époque; son renom était tel qu'à 22 ans il devint professeur à l'Université de Padoue; tout de suite, il organisa son enseignement de façon très personnelle, montrant lui-même sur le cadavre les organes dont il parlait; c'est en 1543 qu'il publia son traité d'anatomie *De humani Corporis Fabrica*, dont la conception était tout à fait nouvelle, car il comportait de nombreuses planches dessinées d'après ses propres dissections; à l'occasion, il rectifiait des descriptions fausses que l'on répétait depuis Galien, ce qui demandait alors bien du courage (il est prouvé maintenant que Galien n'avait pas fait de dissections humaines).

Dans son ouvrage, Vésale a figuré (fig. 1) et décrit avec précision l'os temporal, le marteau et l'enclume (dont l'existence était d'ailleurs connue avant lui), ainsi que le nerf auditif, qui était encore cependant pour lui, comme pour Galien, une branche du facial.

La méthode de Vésale fit faire de rapides progrès à l'anatomie, à celle de l'oreille en particulier. Son élève Ingrassias (1510-1580), professeur à Palerme, découvrit en 1546 l'étrier, et donna une description plus claire de la cochlée et des canaux semi-circulaires.

Fallope (Gabrielo Fallopius, 1523-1562), à Bologne, étudia le développement de l'oreille pendant la croissance; sa description de l'oreille moyenne, des articulations des osselets notamment, est assez précise; dans le labyrinthe, il mentionne les trois tours du limaçon, la lame spirale, et il découvre le canal du nerf facial, que nous nommons toujours aqueduc de Fallope.

Eustache (Bartolomeus Eustachius, 1510-1574) publia en 1563 le premier ouvrage traitant uniquement de l'oreille : *Epistola de auditus organis*. La description qu'il donne surpasse en exactitude et en précision celle de Fallope; il décrit le muscle tenseur du tympan, la corde du tympan, dont il sait qu'elle n'est pas un nerf de l'oreille, et il étudie avec soin, sans d'ailleurs comprendre son rôle, la morphologie du conduit, connu depuis l'Antiquité, qui est resté la trompe d'Eustache.

La somme de toutes les connaissances ainsi acquises se trouve dans le *De auditus instrumento* publié en 1572 par Volcher Coiter, de Groningue; au point de vue anatomique, cette monographie n'apportait rien de nouveau, mais l'auteur se risquait, le premier sans doute, à expliquer le fonctionnement de l'organe; d'après lui, le rôle du tympan est de protéger la pureté de l'air implanté contenu dans la cavité tympanique, et qui est mis en mouvement par le son; la cochlée, également pleine d'air, renforce le son, qui agit sur le nerf auditif; Coiter attribue à la trompe d'Eustache le rôle de conduire le son de la bouche à l'oreille, et pense qu'une personne sourde entend mieux la bouche ouverte.

Les débuts de la résonance. — En quelques dizaines d'années, les anatomistes de la Renaissance avaient débrouillé la structure de l'oreille; grâce à de meilleurs moyens techniques, à l'utilisation d'instruments très fins, pinces et limes, leurs successeurs apprirent à connaître le labyrinthe avec plus de détail et d'exactitude, chez l'homme et aussi chez les animaux; il faut à ce propos citer Casserius, qui a publié une étude, illustrée de nombreuses et belles planches, du larynx et de l'oreille chez de nombreux Vertébrés (fig. 2).

En même temps que l'oreille, le son est alors mieux connu; Galilée explique que la résonance des cordes tendues, attribuée jusque-là à une sorte de sympathie mal définie, est due à la transmission d'impulsions par l'air; il montre que la hauteur du son émis par une corde vibrante dépend de la fréquence de vibration, celle-ci de la longueur de la corde, et il complète ainsi, après vingt-deux siècles, l'œuvre de Pythagore; en observant les lampes qui se balancent dans les églises, il conçoit l'idée que les objets susceptibles de vibrer ont une période propre, ce qui est le cas des cordes tendues.

Précisément son disciple, le Père Mersenne, dans son *Harmonie Universelle* (1636), établit les lois des cordes vibrantes, en indiquant les relations de la hauteur à la longueur, à la tension, et au diamètre, puis constate qu'une corde vibrante produit des harmoniques que l'on peut entendre quand le son faiblit.

Otto de Guericke, inventeur de la pompe à faire le vide, montre que l'air est nécessaire à la propagation du son; il découvre ensuite la propagation dans les liquides, mais celle-ci ne sera pas prouvée ni admise avant le milieu du siècle suivant.

Les explications alors proposées du fonctionnement de l'oreille se fondent sur la résonance d'une cavité contenant de l'air; telle est la théorie exposée en 1605 par Gaspard Bauhin, professeur d'anatomie à Bâle. D'après Bauhin, quand le son atteint l'oreille, des vibrations prennent naissance dans ses diverses cavités, au fond desquelles se trouve le nerf auditif; la résonance est sélective, car ces cavités sont de dimensions et de formes différentes; les sons graves sont reçus dans les cavités les plus vastes, les aigus dans les plus petites; Bauhin hésite

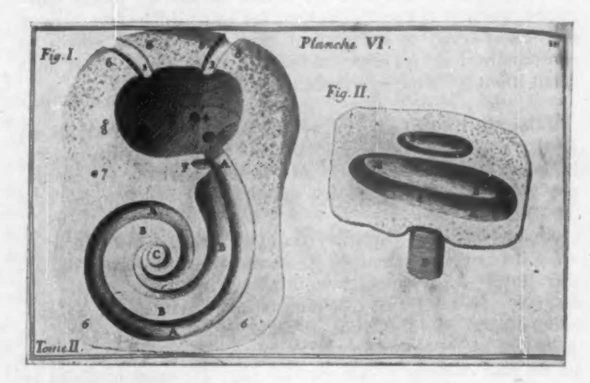


Fig. 3. — *Le labyrinthe d'après Perrault* (1680).
(Essais de Physique, Bibliothèque du Muséum).

devant la difficulté de savoir si le récepteur est bien la cavité tympanique, où il place l'air implanté, et ne dénie pas toute fonction aux cavités labyrinthiques.

Cette théorie, plus ou moins modifiée, fut plusieurs fois reprise, au cours du XVIIe siècle; Willis, d'Oxford, l'expose de nouveau en 1672, sans toutefois retenir l'idée de sélectivité dans la résonance des diverses cavités.

Plus élaborée, mais toujours de la même forme, est la théorie de Perrault. Claude Perrault, médecin, naturaliste, physicien, et architecte de la colonnade du Louvre, étudie l'oreille dans le second volume de ses *Essais de Physique* (1680). Il reporte dans le labyrinthe l'air « implanté » que l'on plaçait jusque-là dans l'oreille moyenne; connaissant la lame spirale, mais non la membrane basilaire, il croit que les deux rampes du limaçon communiquent sur toute leur longueur; il considère enfin la lame spirale comme le véritable organe auditif, et pense que l'étalement du nerf le long de cette lame a pour rôle d'accroître la sensibilité (fig. 3).

Mais laissons-le exposer lui-même ses conceptions : « C'est dans cette seconde cavité de l'oreille interne (le labyrinthe) que doit être cet air que les Anatomistes appellent implanté, et non dans la première cavité où ils le mettent tous : car cet air, ainsi qu'Aristote a fort bien remarqué, doit être immobile et n'avoir aucune communication avec l'air de dehors; ce qui ne peut être dit de l'air contenu dans la première cavité, puisque par le moyen du conduit appelé l'Aqueduc (la trompe d'Eustache), il a communication avec l'air que le palais reçoit dans la respiration ».

« La substance osseuse se mêlant avec la substance nerveuse des fibres du nerf, il s'en compose une espèce de membrane que j'appelle la membrane spirale (aujourd'hui, lame spirale) et que j'estime être l'organe immédiat de l'ouïe ». Les qualités et la disposition en sont tout à fait telles qu'elle puisse être « facilement ébranlée par les émotions de l'air qui causent le bruit ». En outre, « il est aisé de juger que cette membrane a été formée ainsi en spirale montante, pour lui faire faire deux tours ou un tour et demi à l'entour du noyau, afin que par ce moyen étant rendue plus longue elle pût recevoir l'impression du mouvement en plus de parties qui eussent toutes rapport à un même nerf, et qui par ce moyen pussent assembler et ramasser en une toutes les impressions faites en différents endroits pour la rendre plus vive et plus piquante ».

Enfin, Perrault pense que les mouvements de l'air sont transmis au labyrinthe par le tympan et la cavité de l'oreille moyenne, et que la lame spirale en est le seul récepteur; en effet, « la cavité du limaçon dans laquelle l'organe immédiat de l'ouïe est situé, n'a point d'issue, et cela fait que l'impulsion de l'air qui y est enfermé est beaucoup plus puissante que celle qui se fait dans les autres cavités du même labyrinthe, qui sont des conduits ayant des issues différentes (canaux semi-circulaires), et ne pouvant pour cette raison retenir et contraindre l'air qu'elles contiennent, son émotion est tout à fait affaiblie et presque anéantie ».

TRAITÉ
DE
L'ORGANE
DE L'OUIE,
CONTENANT LA STRUCTURE, les Usages & les Maladies de toutes les parties de l'Oreille.

Par M. DU VERNEY, *de l'Academie Royale des Sciences, Conseiller, Medecin Ordinaire du Roy, & Professeur en Anatomie & en Chirurgie au Iardin Royal des Plantes.*

A PARIS,
Chez ESTIENNE MICHALLET, ruë S. Jacques à l'Image S. Paul.
M. DC. LXXXIII.
AVEC PRIVILEGE DE SA MAJESTÉ.

Fig. 4. — *La page de titre du Traité de Duverney* (1683). (*Bibliothèque du Muséum*).

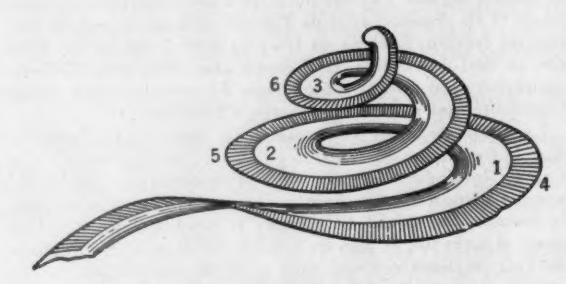


Fig. 5. — *La lame spirale d'après Duverney.*
1, 2, 3, lame spirale osseuse ; 4, 5, 6, partie membraneuse, aujourd'hui appelée membrane basilaire.

Théorie de Duverney. — La conception de Perrault est encore celle d'une résonance de cavité, sans sélectivité ni localisation; la première théorie de forme moderne a été exposée peu après par Duverney, dans son *Traité de l'organe de l'ouïe* (1683).

Joseph Guichard Duverney (ou Du Verney), médecin ordinaire du Roy, professeur en Anatomie et en Chirurgie au Jardin Royal des Plantes, membre de l'Académie Royale des Sciences, était un ami d'Edme Mariotte, avec qui il a beaucoup discuté les idées qu'il présente, et, dit-il, « j'avoue que je dois à M. Mariotte une bonne partie de ce qu'on trouvera ici de plus curieux ». Son ouvrage (fig. 4), court et divisé en trois parties contenant respectivement « la structure de l'organe de l'ouïe, l'usage des parties de l'organe de l'ouïe, et les maladies de l'organe de l'ouïe », est un modèle de clarté; les illustrations en sont excellentes.

Duverney connaissait bien l'oreille moyenne, et décrivait correctement la transmission des sons par le tympan et les osselets; dans le labyrinthe, qu'il croyait toujours plein d'air, il connaissait la membrane basilaire, dont il a donné le premier dessin (fig. 5) sans lui accorder de rôle dans l'audition.

Pour lui comme pour Perrault, la lame spirale osseuse, dans laquelle se distribue une branche du nerf auditif, est l'organe immédiat de l'ouïe; ses qualités physiques et sa disposition la rendent particulièrement propre à être ébranlée par les vibrations qui agitent l'air dans les deux rampes du limaçon, et, en outre, « sa structure doit faire penser qu'elle peut répondre

à leurs caractères différents; car étant plus large au commencement de la première révolution qu'à l'extrémité de la dernière, où elle finit comme en pointe, et ses autres parties diminuant proportionnellement de largeur, on peut dire que les parties les plus larges pouvant être ébranlées sans que les autres le soient, ne sont capables que de frémissements plus lents qui répondent par conséquent aux sons graves; et qu'au contraire ses parties les plus étroites étant frappées, leurs frémissements sont plus vites, et répondent par conséquent aux sons aigus; de sorte qu'enfin, selon les différents ébranlements de la lame spirale, les esprits du nerf, qui se répand dans sa substance, reçoivent différentes impressions qui représentent dans le cerveau les diverses apparences des sons ».

C'est bien là une théorie de résonance localisée, et son auteur était de près de deux siècles le précurseur de Helmholtz; mais Duverney plaçait la réception des sons graves à la base du limaçon, celle des aigus au sommet; parce qu'il fondait la localisation sur la largeur de la lame spirale osseuse, il se la représentait à l'inverse de celle que nous admettons aujourd'hui.

Contrairement à Perrault, Duverney pensait que les canaux semi-circulaires font aussi partie de l'organe immédiat de l'ouïe, pour la raison que les Poissons et les Oiseaux n'ayant pas de limaçon, ils doivent entendre avec ces canaux, et qu'on ne voit pas pourquoi, ayant chez l'homme la même constitution, ceux-ci n'auraient pas le même rôle; dans les canaux semi-circulaires, Duverney imaginait aussi une réception localisée des sons de hauteurs différentes, les parties les plus larges répondant aux graves, et les plus étroites aux aigus.

L'étude de l'oreille et la résonance au XVIIIe siècle. — L'idée d'une résonance localisée en des endroits différents de la lame spirale suivant les hauteurs des sons, eut une heureuse fortune; elle fut reprise et précisée par quelques-uns des plus célèbres physiciens et naturalistes du XVIIIe siècle.

Le grand anatomiste italien Antonio Valsalva disséqua plus de mille oreilles humaines avant de publier son Traité *De aure humana* en 1707; il a pensé le premier que le véritable organe de l'audition était, non la partie osseuse de la lame spirale, mais la partie membraneuse (que nous appelons aujourd'hui membrane basilaire), dans laquelle il croyait, probablement sans l'avoir vu, que se terminaient les plus fins filaments du nerf auditif (fig. 6).

La constitution et le fonctionnement de l'oreille, comme on se les représentait généralement vers le milieu du XVIIIe siècle, sont exposés par Albert de Haller dans ses *Éléments de Physiologie* (1763).

Le nerf auditif, formé de rameaux très petits, « se distribue en partie au vestibule et en partie au limaçon; ces rameaux forment dans le vestibule une membrane pulpeuse, très tendre, qui s'étend de part et d'autre dans les canaux semi-circulaires; ceux qui se distribuent au limaçon s'y terminent d'une manière qu'on ne peut décrire ».

« Il n'est pas douteux, poursuit Haller, que le nerf qui se rend dans le vestibule et dans les canaux semi-circulaires ne soit frappé par les ébranlements de l'air extérieur qui s'étendent jusqu'à l'étrier, et qui touchent par la fenêtre ovale la pulpe du nerf qui y est nu. La portion qui se distribue au limaçon peut à peine être aperçue. Il est probable qu'il s'en sépare des rameaux qui se distribuent à la partie membraneuse de la lame spirale. Cette partie est-elle l'organe immédiat de l'ouïe ? L'anatomie n'est pas encore parvenue à le faire savoir, et cela ne s'accorde pas avec ce qui s'observe dans certains animaux, dans les Oiseaux et dans les Poissons, qui entendent parfaitement, quoiqu'ils n'aient pas de limaçon. Quelque chose qu'il en puisse être, il est cependant probable que la lame spirale, remplie de nerfs, est ébranlée par l'oscillation de la membrane du tympan qui agite l'air de cette cavité, de sorte qu'il frappe la membrane de la fenêtre ronde et celle-ci l'air interne du limaçon ».

Fig. 6. — *Le labyrinthe d'après Valsalva* (1707).

I : les canaux semi-circulaires. II : le labyrinthe, vu en totalité, depuis le cerveau. III : les canaux semi-circculaires, supposés déroulés. IV : le labyrinthe, vu en totalité, depuis la cavité tympanique ; *o*, fenêtre ovale ; *p*, fenêtre ronde. V : le labyrinthe, vu depuis le cerveau : le vestibule a été ouvert ; on voit au fond la fenêtre ovale. VI : les deux rampes du limaçon : *s*, rampe tympanique ; *t*, rampe vestibulaire. VII : la cloison spirale de la cochlée : *a*, lame spirale osseuse ;*b*, partie membraneuse. VIII et IX : le nerf auditif vu d'un côté et de l'autre *g*, la membrane basilaire ; *f*, la membrane très molle que forme le nerf en se terminant dans le vestibule et les canaux semi-circulaires. X : le nerf auditif et les vaisseaux sanguins de l'oreille interne. XI : *m*, *n*, le nerf facial ; *k*, *l*, le nerf auditif.

On voit que pour Haller, encore, l'oreille interne contient de l'air; celui du vestibule et des canaux semi-circulaires est mis en mouvement par l'étrier, tandis que la membrane de la fenêtre ronde communique ses vibrations à l'air du limaçon, et à la lame spirale; si le rôle de la lame spirale n'est pas certain, cependant « cette conjecture est d'autant plus heureuse... qu'on peut imaginer dans cette lame un nombre infini de cordes, de plus en plus courtes, qui s'accordent et soient dans une telle harmonie avec les différents sons aigus et graves, qu'elles tremblent en formant un nombre infini de sons, c'est-à-dire, les plus longues situées à la base du limaçon, avec les sons graves, les plus courtes, situées à la pointe, avec les sons aigus ».

A. de Haller adopte donc, après d'autres, l'idée de Duverney; comme lui, il place la réception des sons graves à la base du limaçon, celle des aigus au sommet. Il pense, en outre, que ce pourrait être des cordes contenues dans la lame spirale qui vibrent en harmonie avec les sons de diverses hauteurs, supposition qui se précisera concrètement, un siècle plus tard, dans la théorie de Helmholtz.

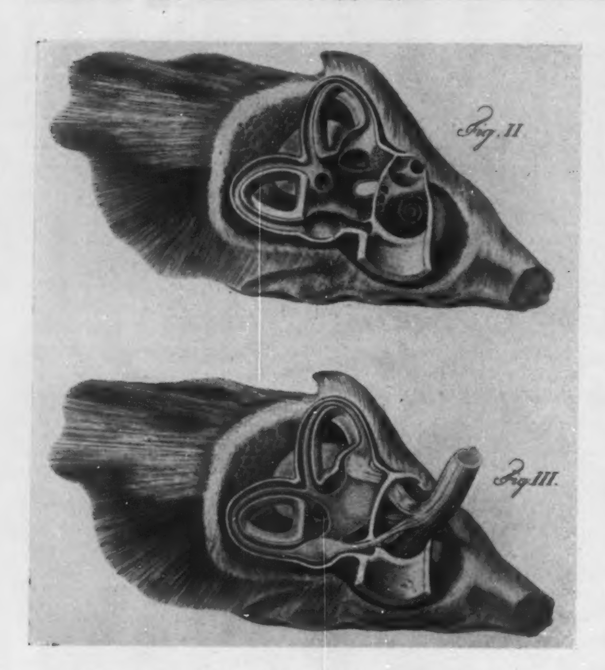


Fig. 7. — *Le labyrinthe d'après Scarpa* (1789).
II : labyrinthe osseux, ouvert, vu depuis la cavité crânienne. III : labyrinthe membraneux en place, et nerf auditif.
(*Anatomicae Disquisitiones, Bibliothèque du Muséum*).

Cependant, cherchant ensuite à comprendre comment nous distinguons les sons les uns des autres, A. de Haller fait appel à une autre explication qui anticipe, cette fois, sur la théorie téléphonique. « La distinction des sons dépend sans doute de la vitesse des ébranlements du nerf acoustique, suivant qu'ils se succèdent plus ou moins promptement dans un petit espace de temps. Il n'est pas nécessaire que l'âme puisse les compter; il suffit qu'il s'excite dans la pensée différents changements suivant que le nombre de ces ébranlements est différent ».

On achève alors de connaître la constitution de l'oreille; plusieurs anatomistes ayant déjà observé la présence de liquide dans l'oreille interne, Domenico Cotugno montre en 1760 que ce liquide emplit complètement le labyrinthe, qui ne contient pas d'air; ainsi est ruinée la théorie de l'air implanté, qui régnait depuis au moins deux mille ans; ne connaissant pas le labyrinthe membraneux, Cotugno croyait que le nerf baignait dans ce liquide; il décrivait, dans le limaçon, des fibres plus longues à l'apex, et plus courtes à la base, et localisait correctement les graves et les aigus.

Scarpa, enfin, couronne l'édifice anatomique, en découvrant le labyrinthe membraneux et en distinguant les deux liquides de l'oreille interne, endolymphe et périlymphe; utilisant le microscope d'alors (que nous appellerions une loupe), il a donné du labyrinthe des dessins d'une grande finesse (fig. 7 et 8).

Critique, déclin et abandon de l'hypothèse résonantielle. — Déjà au cours du XVIIIe siècle, bien que l'hypothèse de la résonance localisée fût communément acceptée, certains en avaient vu les difficultés. Cramer, en 1741, pensait que les fibres de la lame spirale étaient trop courtes pour vibrer. Estève (1751) avait élevé plusieurs objections; l'une était que des cordes tendues ne vibrant pas seulement dans leur totalité, mais aussi par fractions, il devrait se produire une confusion d'harmoniques; les cordes, d'autre part, ne sont pas suffisamment indépendantes pour vibrer isolément (cette difficulté sera opposée de nouveau, un siècle plus tard, à la théorie de Helmholtz).

Mais c'est au début du XIXe siècle surtout que l'incertitude augmente et que les avis se partagent au sujet de la résonance dans l'oreille. Thomas Young, en 1807, expose brièvement l'hypothèse et ajoute, avec peu d'enthousiasme semble-t-il, que « cette opinion n'apparaît pas comme tout à fait improbable ». John et Charles Bell, en 1829, l'acceptent, en raison de la variation régulière de la largeur du tube cochléaire de la base au sommet. Magendie, au contraire, dans son *Précis élémentaire de Physiologie* (1817), l'exécute en quelques mots, sans même la nommer : « On ignore absolument la part que prend à l'audition chacune des parties de l'oreille interne. La cloison osso-membraneuse qui sépare le limaçon en deux rampes a donné lieu à une hypothèse que personne n'admettrait aujourd'hui ».

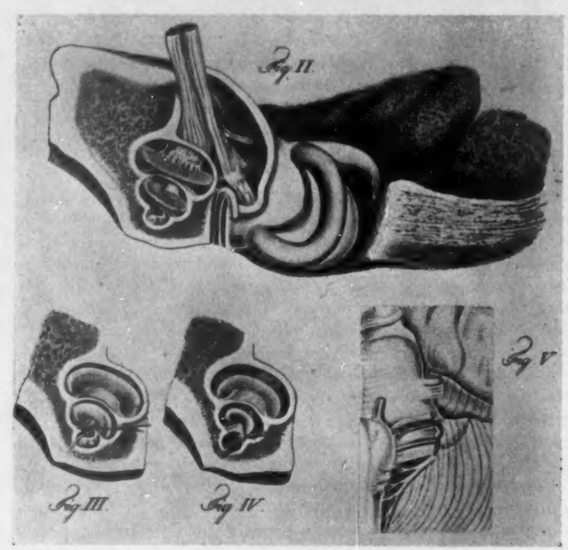


Fig. 8. — *Distribution des fibres du nerf auditif dans la cochlée d'après Scarpa.*

Cette manière de voir l'emporte finalement; J. Müller, dont le principe de l'énergie spécifique des nerfs sera pourtant l'une des bases de la théorie de Helmholtz, est vivement opposé à toute idée de résonance dans l'oreille; de même E. H. Weber, qui énonça la célèbre loi relative aux seuils différentiels de perception. Et, dans le *Dictionnaire de Physiologie* de R. Wagner (1853), on peut lire cette appréciation catégorique : « Si nous essayons maintenant de comprendre la possibilité de percevoir directement les diverses hauteurs des sons, nous devons d'abord condamner définitivement une conception d'après laquelle des fibres (nerveuses) de différentes longueurs, qui seraient par exemple dans la lame spirale de la cochlée, sont comparées avec des cordes vibrantes ».

Dix années plus tard seulement, doit paraître l'ouvrage dans lequel Helmholtz reprendra, en la fondant sur des connaissances plus solides et plus précises, l'idée de Duverney, et exposera sa théorie de la résonance, qui aura d'abord auprès de tous le plus grand succès.

(*à suivre*).

ANDRÉ GRIBENSKI,
Agrégé de l'Université.

La grande industrie chimique en France

Les industries utilisant le sel comme matière première

Carbonate de sodium, soude, sulfate de sodium, acide chlorhydrique

Comme l'a exposé le professeur Henri Guérin dans un précédent article (La Nature, *février 1954, p. 41*), *les diverses méthodes d'extraction fournissent annuellement en France une quantité de l'ordre d'un million de tonnes de sel solide, dont 900 000 t sont consommées en France même. En tête des utilisateurs vient la grande industrie chimique (423 050 t en 1952, auxquelles il faut ajouter environ 1 500 000 t de sel utilisé directement sous forme de saumures) pour l'obtention de divers produits de grande importance dont M. Guérin va maintenant nous entretenir.*

★

Le chlorure de sodium constitue la matière première de diverses fabrications très importantes comme celles du carbonate de sodium, de l'acide chlorhydrique, du sulfate de sodium, de la soude, du chlore, etc., que nous examinerons successivement. Nous consacrerons le présent article aux fabrications autres que celles opérant l'électrolyse du chlorure de sodium.

Industrie du carbonate de sodium. — Le carbonate de sodium est l'un des produits chimiques dont la production est la plus considérable. Celle-ci, qui atteignait en France près de 500 000 t en 1938, dépassait 800 000 t en 1951.

L'importance de ce sel ne date pas d'aujourd'hui puisque c'est pour éviter les importations d'un produit déjà très demandé, les « soudes naturelles » en provenance d'Espagne, que sa fabrication fut entreprise en France en 1791 par le procédé Leblanc. Ce procédé devait à juste titre faire considérer son auteur comme le fondateur de l'industrie chimique : car c'est avec la soudière, qui comprenait normalement une vitriolerie et à laquelle sont venus bientôt s'ajouter un atelier de chlore et une fabrication de chlorures décolorants, qu'est apparu le phénomène d'intégration ou de concentration verticale qui caractérise la grande industrie chimique.

Mais moins d'un siècle après son démarrage, le procédé Leblanc voyait naître un concurrent redoutable : le procédé à l'ammoniac, dont la réalisation industrielle, tentée par divers auteurs, notamment par Schloesing et Rolland à Puteaux en 1854, fut conduite avec succès par Solvay, d'abord à Couillet en Belgique en 1865, puis à Dombasle en 1872. Plus économique et exigeant notamment moins de combustible, le procédé à l'ammoniac devait peu à peu se substituer à son devancier et en 1910 la dernière soudière Leblanc disparaissait en France.

La fabrication du carbonate de sodium à l'ammoniac ou procédé Solvay, consiste essentiellement à effectuer une réaction de double décomposition entre le chlorure de sodium et le bicarbonate d'ammonium, celle-ci étant rendue possible par la très faible solubilité du bicarbonate de sodium :

$$ClNa + CO_3NH_4H \rightleftarrows \underset{\uparrow}{CO_3NaH} + ClNH_4$$

Pratiquement, on part de solutions saturées de chlorure de sodium obtenues soit par dissolution de sel marin (Salins de Giraud) soit plus généralement par pompage des saumures (voir article précédent, cas de la Lorraine) dont on élimine les impuretés gênantes (magnésie et chaux), que l'on sature d'ammoniac puis que l'on soumet à la carbonatation. On a donc en réalité.

$$(1) \quad CO_2 + NH_3 + OH_2 = CO_3NH_4H$$
$$(2) \quad CO_3NH_4H + ClNa \rightleftarrows \underset{\downarrow}{CO_3NaH} + ClNH_4$$

Le bicarbonate de sodium étant précipité, on l'essore, on le sèche et on le transforme en carbonate de sodium par chauffage vers 200° :

$$(3) \quad 2CO_3NaH = CO_3Na_2 + CO_2 + OH_2$$

Les eaux mères qui contiennent, à côté du chlorure de sodium en excès, du chlorure d'ammonium, sont traitées par la chaux afin de récupérer l'ammoniac :

$$(4) \quad 2ClNH_4 + (HO)_2Ca = Cl_2Ca + 2NH_3 + 2OH_2$$

puis éliminées comme eaux résiduaires. Le chlorure de calcium qu'on peut en extraire par concentration n'a en effet que peu de débouchés puisqu'on n'en consomme qu'environ 20 000 t par an en France.

Théoriquement, on peut éviter simultanément cette perte en chlore et la récupération de l'ammoniac en saturant les eaux mères de chlorure de sodium et en les portant à — 15° : il précipite du chlorure d'ammonium, qui constitue un engrais, tandis que les eaux mères retournent en fabrication.

Georges Claude a appliqué cette variante, sous une forme un peu différente, dans une petite soudière (16 000 t par an de carbonate) annexée à l'usine d'ammoniac de Waziers (Nord). On substituait alors au chlorure de sodium, matière première, la sylvinite d'Alsace (chlorure double de sodium et de potassium). Le bicarbonate de potassium, beaucoup plus soluble que le bicarbonate de sodium, traversait alors tout le circuit de la fabrication sans réagir et se retrouvait intégralement dans les eaux mères avec le chlorure d'ammonium et l'excès de chlorure de sodium. Ces eaux mères, saturées par addition de sylvinite et refroidies à — 15°, laissent alors précipiter un mélange de chlorures de potassium et d'ammonium, vendu sous le nom de « potazote » comme engrais mixte, et beaucoup mieux apprécié des agriculteurs que le chlorure d'ammonium.

On procède donc généralement à la décomposition du chlorure d'ammonium, et l'ammoniac libéré par la réaction (4) est recyclé afin d'opérer la réaction (1), tandis que l'anhydride carbonique et la chaux nécessaires à la réaction (4) sont produites par décomposition du calcaire dans un four à chaux :

$$(5) \quad CO_3Ca = CO_2 + OCa$$
$$(6) \quad OCa + OH_2 = (HO)_2Ca$$

L'ammoniac étant théoriquement récupérable (on compte, en fait, une consommation de 2,5 kg d'ammoniac par tonne

de carbonate), cette fabrication n'exige pratiquement que du sel, du calcaire et du coke, et tout se passe comme si on réalisait la réaction théorique suivante :

$$CO_3Ca + 2ClNa = CO_3Na_2 + Cl_2Ca$$

La production d'une tonne de carbonate exige en effet de l'ordre de 1 600 kg de sel, de 1 400 kg de calcaire, de 100 kg de coke, de 2,5 kg d'ammoniac et de 500 kg de charbon pour la production de vapeur.

Le schéma de fabrication représenté sur la figure 1, apparemment assez complexe, s'interprète aisément si l'on distingue les phases successives de ce procédé :

1° *Épuration de la saumure* : Les saumures additionnées de lait de chaux dans le mélangeur (1) abandonnent leur magnésie dans le bac de décantation (2) puis sont traitées dans la colonne (3) par les gaz résiduaires provenant de la colonne de carbonatation (9) qui abandonnent à leur contact l'ammoniac et l'anhydride carbonique qu'ils renferment ; elles passent alors dans les décanteurs (4) et (5) où le carbonate de calcium formé se dépose.

Dans certaines usines on procède à une épuration en un seul temps par addition simultanée d'eau de chaux et de carbonate de sodium ; le précipité formé décanterait alors beaucoup plus rapidement.

2° *Préparation de la saumure ammoniacale et carbonatation.* — Dans la colonne (6) dont la partie inférieure est activement réfrigérée, les saumures épurées sont saturées d'ammoniac à l'aide des gaz provenant de la colonne de décarbonatation (17) puis, après passage dans un réservoir de stockage (7), elles sont soumises à la carbonatation. Celle-ci s'opère dans diverses colonnes (9) en fonte d'environ 2,5 m de diamètre et de 20 à 25 m de haut, au sommet desquelles arrive la saumure ammoniacale, tandis que du gaz contenant 50 à 60 pour 100 de CO_2 (mélange du gaz de four à chaux et des gaz des fours à calciner) est envoyé à la base et que les gaz de fours à chaux contenant environ 40 pour 100 de CO_2 sont admis à mi-hauteur. Ces colonnes (fig. 2) sont constituées par des anneaux superposés d'environ 1 m de haut, portant chacun un cloisonnement en forme d'entonnoir, à large ouverture dentelée, surmontée d'une calotte ou passette également dentelée formant chicanes, ce qui assure un contact efficace entre les gaz et la saumure qui circulent en sens inverse.

L'ensemble des réactions (1) et (2) étant exothermique et la température pouvant de ce fait atteindre 65° vers le tiers supérieur de la colonne, on doit refroidir la base de la colonne par une active circulation d'eau dans un faisceau tubulaire, de façon que la suspension de bicarbonate résultant de la précipitation de celui-ci s'écoule à une température de l'ordre de 25°.

Du bicarbonate cristallise sur les surfaces métalliques et forme des croûtes. Afin d'éviter un encrassage des colonnes, on doit, après douze heures de fonctionnement, les laver énergiquement. C'est pourquoi l'on monte toujours en série avec une colonne en fabrication telle que (9), c'est-à-dire alimentée en gaz carbonique, une autre colonne telle que (8) simplement parcourue par de la saumure et dite « en lavage ».

Une soudière comporte donc normalement un certain nombre de ces colonnes dont la production unitaire est de l'ordre de 50 à 70 t par jour.

3° *Séparation, lavage et torréfaction* : La bouillie de bicarbonate s'écoule dans un patrouilleur (10), puis arrive sur les filtres rotatifs à vide (11) ou sur

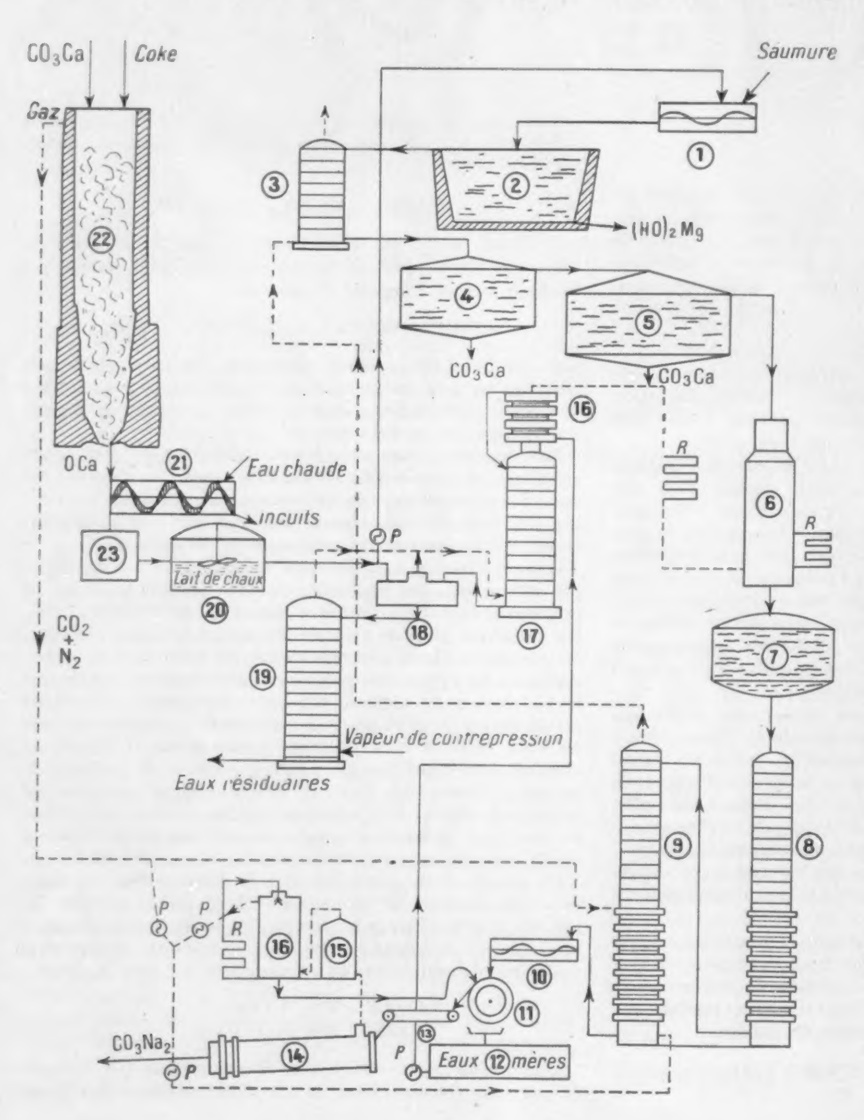


Fig. 1. — *Schéma de la fabrication du carbonate de sodium.*
Explications dans le texte.

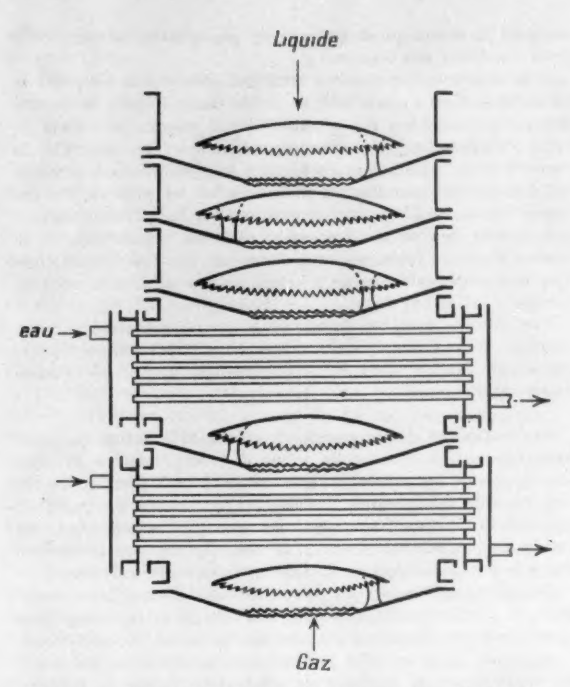


Fig. 2. — *Coupe schématique de la colonne de carbonatation.*
Colonnes (8) et (9) de la figure 1. On voit les passettes recouvertes d'une calotte pour l'absorption, et le dispositif de réfrigération dans la partie inférieure de la colonne.

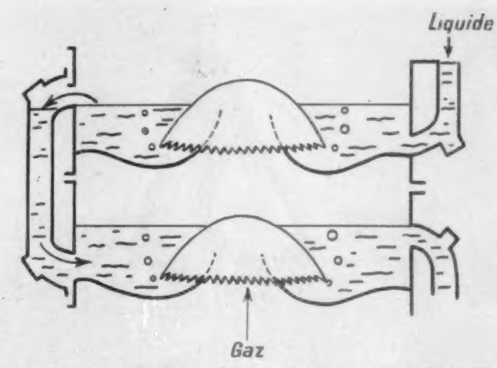


Fig. 3. — *Coupe schématique d'une partie de la colonne de distillation.*
Colonne (19) de la figure 1. Le passage du liquide d'un étage à l'autre se fait ici par l'extérieur.

des essoreuses semi-continues groupées par deux. Le bicarbonate lavé sur filtre à l'aide des eaux provenant du laveur (16) et contenant environ 10 pour 100 d'eau, tombe sur le tapis 13 qui le transporte au calcinateur (14) où, porté à 150° environ, il se transforme en carbonate de sodium anhydre, qu'on envoie au stockage.

Les anciens calcinateurs constitués par des fours tournants d'une quinzaine de mètres, chauffés extérieurement au mazout, ont tendance à faire place à des fours rotatifs chauffés intérieurement par un faisceau tubulaire parcouru par de la vapeur sous pression (22 kg) et qui, à encombrement égal, ont une production du double. Les gaz qui s'en échappent et qui contiennent surtout du gaz carbonique (97 pour 100) entraînent des poussières que l'on retient dans un dépoussiéreur (15) et de l'ammoniac que l'on absorbe dans un laveur, fournissant une liqueur utilisée pour le lavage des filtres.

4° *Récupération de l'ammoniac* : Les eaux mères, qui renferment à côté du chlorure de sodium non transformé (environ 25 pour 100 de celui des saumures) la presque totalité de l'ammoniac non seulement sous forme de chlorure d'ammonium et de carbonate mais aussi de sulfate (du fait de la présence de sulfates dans les saumures initiales), sont stockées dans une citerne (12) puis, après passage dans un réchauffeur (16), envoyées dans une colonne de décarbonatation à plateaux (17) où le carbonate d'ammonium est décomposé et ses constituants entraînés. Entièrement privées de CO_2 lorsqu'elles quittent cette colonne, puis additionnées de chaux dans un malaxeur (18), les eaux mères traversent alors une colonne de distillation (19) (fig. 3) où, sous l'action combinée de la chaleur et de la chaux, les sels fixes d'ammonium (sulfate et chlorure) sont à leur tour décomposés, de sorte que, tout l'ammoniac qu'elles contenaient ayant été pratiquement libéré, elles peuvent être éliminées comme eaux résiduaires.

5° *Préparation de la chaux et de l'anhydride carbonique :* Nous avons vu que cette fabrication exige presqu'autant de calcaire que de sel ; le ravitaillement en cette matière première pose un problème important pour la soudière qui est amenée à exploiter des carrières de calcaire (fig. 4 et 5) aussi proches que possible des gisements de sel.

Les fours à chaux (22), à la base desquels on souffle de l'air, sont alimentés en calcaire et en coke, qui, en brûlant, porte la masse à environ 1 100° ; on obtient ainsi en continu de la chaux et un gaz contenant environ 40 pour 100 de CO_2. La chaux, additionnée d'eau, est transformée dans un chauleur (21) en un lait de chaux à environ 22 pour 100 qui, après filtration (23) et stockage dans un réservoir où il est agité, est utilisé d'une part pour l'épuration des saumures (1) et d'autre part pour régénérer l'ammoniac encore obtenu dans les eaux mères préalablement décarbonatées (18).

Progrès de la fabrication et utilisations du carbonate de sodium. — Cette description rapide du procédé pourrait laisser croire que celui-ci n'a guère évolué depuis sa mise en route. Si l'on ne peut citer effectivement aucun changement comparable à ceux qui caractérisent l'évolution de la fabrication de l'acide sulfurique par le procédé des chambres durant les trente dernières années, il convient de souligner que la pré-



Fig. 4. — *Exploitation d'une carrière de calcaire par pelle mécanique.*

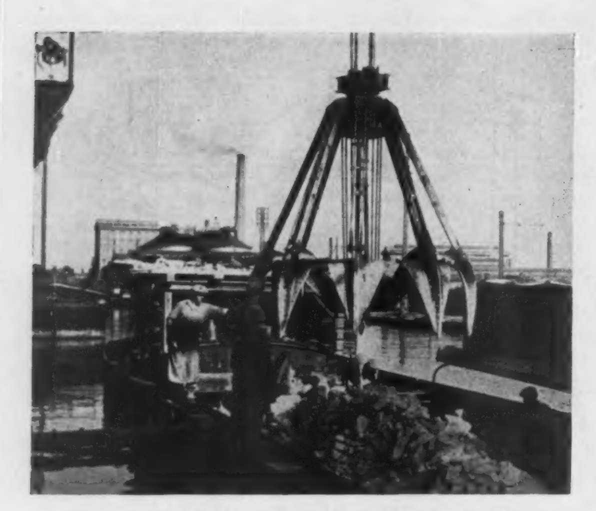


Fig. 5. — *Arrivée du calcaire à l'usine par péniche.*

paration du carbonate de sodium a, elle aussi, fait l'objet de multiples perfectionnements, d'importance variée, mais qui se traduisent par une baisse constante du prix de revient, comme le montre le tableau I.

TABLEAU I

	1914	*1920*	*1939*	*1952*
Indice général des prix	100	373	763	17 297
Prix du carbonate de sodium (1 t)	100 F	430 F	656 F	11 500 F
Prix de l'acide sulfurique (66° B)	60 F	210 F	440 F	10 370 F

Ces résultats ont pu être atteints grâce à un ensemble d'améliorations : utilisation rationnelle de la vapeur, à tous les stades de son emploi; réduction au minimum des pertes en ammoniac, caractéristique d'une marche optimum; accroissement de la productivité, par le développement de la mécanisation et de l'automatisme (réglage automatique des colonnes de carbonatation, par exemple) qui se traduit par une diminution de la main-d'œuvre, par une modernisation des procédés (épuration en un temps des saumures) ou de l'appareillage (filtres et calcinateurs) et aussi par une concentration horizontale particulièrement poussée : la production française de 800 000 t en 1952 a été pratiquement obtenue dans six usines, situées sur les gisements de sel de Lorraine (Dombasle, La Madeleine et Sarralbe), du Jura (Tavaux), des Pyrénées (Bayonne), ou près des marais salants (Saint-Louis-du-Rhône près du Salin de Giraud) et au voisinage des gisements de calcaire. Les usines de Lorraine, qui ont l'avantage de se trouver à proximité de gisements de houille, couvrent 72 pour 100 de la production française.

En 1952, la consommation française de carbonate se répartissait ainsi : verrerie, 39 pour 100 ; usages domestiques, 21 pour 100; produits chimiques et plus spécialement soude, 19 pour 100 ; industrie textile, 7,3 pour 100 ; métallurgie, 6 pour 100. Les exportations ont dépassé 180 000 t.

Le carbonate de sodium destiné aux usages domestiques est généralement vendu à l'état de décahydrate (cristaux de soude) obtenu par dissolution du sel anhydre, appelé parfois soude Solvay, et cristallisation en présence d'une faible quantité de sels (3 pour 100 de SO_4Na_2 par exemple) donnant de la dureté aux cristaux. Une grande partie de ce carbonate hydraté est mélangé à divers produits (persels, phosphates, savons, etc.) pour constituer des lessives.

A la demande des verriers cette industrie a mis au point la fabrication d'un « carbonate de soude dense » dont la densité apparente (1 000 à 1 100 g au litre) est presque le double de celle correspondant au carbonate ordinaire. Très apprécié en verrerie et en métallurgie du fait que sa manipulation entraîne un dégagement moindre de poussières, ce sel présente l'avantage d'être de moitié moins encombrant, ce qui présente un certain intérêt lors de son transport, pour les exportations et se traduit de toute façon par une économie sur l'ensachage, facteur non négligeable lorsqu'il s'agit d'un produit bon marché, comme c'est le cas ici.

Une certaine quantité de carbonate est retransformé par dissolution et recarbonatation en bicarbonate de sodium Codex, ou sel de Vichy, dont la consommation atteint en France 30 000 t par an.

Préparation de la soude par caustification du carbonate. — Les lessives de soude de concentrations diverses (30 à 50 pour 100) et les soudes solides à 97,5 pour 100 (coulées en fûts, en plaques, en écailles ou même en pastilles) qu'exige l'industrie sont obtenues soit par caustification du carbonate de sodium (soude à la chaux), soit par électrolyse des solutions de chlorure de sodium (soude électrolytique).

Contrairement à ce qui se passe dans divers pays étrangers, la production de la soude à la chaux et beaucoup plus importante en France que celle de la soude électrolytique.

En 1951, on a en effet préparé par caustification 240 000 t de soude solide et 97 500 t de soude sous forme de lessives, contre 115 000 t et 10 000 t en 1938; tandis que l'électrolyse fournissait seulement 23 930 t de soude solide et 91 329 t de soude sous forme de lessives contre 11 000 t et 43 944 t en 1938.

La caustification basée sur la réaction réversible :

$$CO_3Na_2 + (HO)_2Ca \rightleftarrows CO_3Ca + 2HONa$$

s'opère au mieux entre 85 et 100° sur des solutions à environ 10 pour 100 de carbonate, qu'on prépare dans les soudières, en décomposant le bicarbonate par de la vapeur.

On travaille dans des cuves d'acier, munies d'agitateurs, dans lesquelles on porte environ 10 m³ de solution à 100°, par chauffage à l'aide d'un serpentin parcouru par de la vapeur. On ajoute alors de la chaux éteinte, on maintient la suspension pendant environ une heure à 100°, puis on envoie l'ensemble dans un décanteur cylindroconique où le carbonate de calcium se dépose. La solution claire décantée est filtrée sur un filtre rotatif à vide à toile de nickel, tandis que les boues sont lavées avant d'être envoyées au remblai, les eaux de lavage servant à dissoudre le carbonate de sodium de l'opération suivante.

Les solutions à 10 pour 100 de soude ainsi obtenues sont concentrées afin de préparer les lessives commerciales ou même la soude solide. Cette concentration a posé deux problèmes importants : celui de la corrosion et celui de l'économie des calories.

La question de la corrosion a été pratiquement résolue par l'emploi de fontes spéciales au nickel ou par l'utilisation du nickel pur; l'économie de calories a conduit à des solutions diverses déjà mentionnées à propos de l'obtention du sel ignigène : emploi d'appareils à multiples effets ou à thermocompression, pouvant fonctionner en continu.

Au delà de 50 pour 100 la concentration se poursuit dans de grandes cuves hémisphériques en fonte, chauffées directement par des gaz de foyer ou mieux de gazogènes et dans lesquelles on fait parfois le vide. L'eau étant éliminée, la soude solide à 97-98 pour 100 est fondue et coulée dans des fûts en tôle, à moins qu'elle ne soit solidifiée au contact d'un tambour

refroidi intérieurement, ce qui permet de l'obtenir en plaques ou en écailles.

L'industrie de la soude trouve en France ses principaux débouchés dans l'industrie textile (42 pour 100), en savonnerie (17 pour 100), pour la préparation des produits chimiques (17 pour 100) et en métallurgie (principalement pour la préparation de l'alumine) (11 pour 100).

Signalons que la caustification des solutions de carbonate pratiquée dans quelques soudières l'est aussi dans de nombreuses usines où, utilisant la soude dans diverses opérations qui la transforment en carbonate, complètement (cas de l'industrie des phénols) ou incomplètement (traitement des bauxites), on désire ensuite la régénérer.

Sulfate de sodium et acide chlorhydrique. — Si les soudières ont complètement abandonné le procédé Leblanc, la première opération de celui-ci, qui consiste à faire agir l'acide sulfurique sur le chlorure de sodium, est encore pratiquée pour préparer le sulfate de sodium et l'acide chlorhydrique. Il y a lieu toutefois de noter que ces deux produits peuvent être obtenus par d'autres voies : le sulfate de sodium décahydraté constitue souvent un produit de récupération du traitement des bains de filature de la soie artificielle, ou d'autres fabrications comme celle du bichromate de sodium ; quant à l'acide chlorhydrique, il est également préparé par synthèse directe dans les usines de chlore. On produit, en France, annuellement environ 60 000 t de ces deux produits.

La fabrication simultanée du sulfate de sodium et de l'acide chlorhydrique, seule considérée ici, s'opère dans des fours modernes du genre Manheim, permettant de travailler en continu.

Un tel four, dont la production journalière peut atteindre 30 t de sulfate et 50 t d'acide, comporte essentiellement un moufle d'environ 8 m de diamètre et de 1 m de haut, dont la sole est construite en briques antiacides et la voûte en briques de carborundum. Le moufle est chauffé généralement par combustion de gaz de gazogène : la température, qui ne doit pas dépasser 885° (fusion du sulfate de sodium), atteint en général 600 à 650° sous la sole.

Le chlorure de sodium et l'acide sulfurique à 98 pour 100 sont introduits en mélange au centre de la sole en continu; grâce à un système de couteaux adaptés à des bras tournant régulièrement et judicieusement orientés, le mélange décrit un cycle en spirale tel que, lorsqu'il se présente devant l'orifice d'expulsion, la transformation du chlorure en sulfate est complète. Le gaz chlorhydrique dégagé, mélangé à de l'air mais non aux fumées, est refroidi dans des tours d'acier ébonité, garnies de faisceaux tubulaires à circulation d'eau; il passe dans un ventilateur puis il est mis au contact d'eau, également

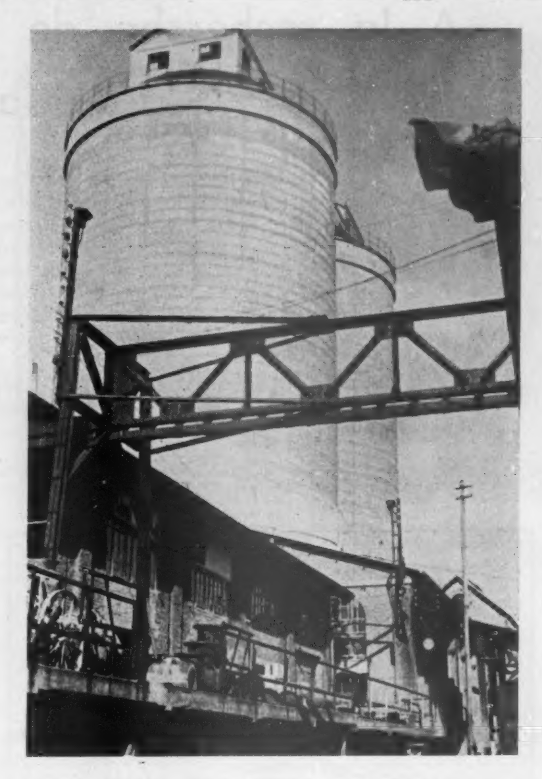


Fig. 6. — Silos à carbonate de sodium.

dans des tours en acier ébonité, entre lesquelles sont intercalés des réfrigérants, de façon à évacuer les calories dégagées par la dissolution.

On obtient ainsi de l'acide chlorhydrique à 21° Bé (33 pour 100) dont nous verrons les applications lorsque nous examinerons le problème du chlore.

Le sulfate de sodium est utilisé en verrerie où il est d'ailleurs très concurrencé par le carbonate de sodium, pour la préparation du sulfure de sodium et aussi comme charge dans l'industrie des colorants.

Henri Guérin,
Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy.

L'uranium en Afrique du Sud

Une mission d'experts nucléaires conduits par le sénateur Hickenlooper, vice-président de la Commission sénatoriale américaine de l'Énergie atomique, est récemment venue en Afrique du Sud pour y étudier les ressources en uranium des mines d'or. Cette mission a visité les installations du Witwatersrand et de l'État libre d'Orange. A un banquet donné en l'honneur des visiteurs, le ministre sud-africain des Mines, M. J. H. Viljoen, a donné un aperçu de ce qui était déjà réalisé pour l'exploitation de l'uranium.

Dès à présent, 22 mines d'or ont adhéré au programme de production. Trois mines ont commencé de traiter leurs minerais, trois autres suivront avant la fin de cette année et, si les prévisions se confirment, les 16 autres mines atteindront au stade de la production l'an prochain. L'Afrique du Sud est donc en passe de devenir l'un des plus gros producteurs d'uranium du monde. « Nous appelons de tous nos vœux, a dit le ministre, le moment où cet uranium sera utilisé pour des fins pacifiques au service de l'humanité ».

La déminéralisation de l'eau de mer

Obtenir de l'eau douce, potable, à partir de l'eau de mer ou des eaux minérales chargées de sels, est une question importante, non seulement pour les naufragés, mais aussi pour les terriens, sur les côtes arides, désertiques et dans les régions de chotts et de lacs salés. Qu'on songe à Port-Étienne, où l'eau doit être apportée par bateau citerne depuis Bordeaux ! Le même problème est posé aux Pays-Bas, notamment dans les terres récemment reconquises sur la mer, dans le Zuyderzee, où la nappe phréatique reste saumâtre.

Il y a quelques années, sous la direction du ministère de la Santé publique et de l'Organisation néerlandaise pour la recherche scientifique appliquée, une enquête fut ouverte sur la possibilité de dessaler l'eau saumâtre d'une façon économique. On fut conduit à l'étendre à l'étranger et c'est ainsi que l'O.E.C.E., considérant le dessalement des eaux comme un sujet d'intérêt international, a confié aux Pays-Bas la direction des études et des recherches qui sont nécessaires.

A la recherche de l'équilibre économique de la Corse

L'Ile de Beauté émeut le touriste : 16 000 visiteurs en 1931, 48 000 en 1938, 75 000 en 1949. Elle émeut aussi les économistes, les géographes, les agronomes, les forestiers, pour d'autres raisons qu'expose un mémoire documenté récemment publié par la Fédération française d'économie alpestre, qui constitue une mise au point particulièrement instructive sur la rupture de l'équilibre agro-sylvo-pastoral tel qu'il ressort d'une enquête menée en 1949-1950 (1).

L'auteur, M. Jeannin, actuellement conservateur des Eaux et Forêts à Nîmes où il se heurte à des problèmes très semblables, a gardé de son séjour en Corse un souvenir sévère : « Peu de forêts dignes de ce nom, peu de champs et beaucoup de broussailles et de maquis couvrant un relief tourmenté où le roc pointe et affleure souvent. » Sur le plan économique la balance commerciale de 1949 accuse un déficit de plus de 4 milliards. L'agriculture ? « On ne peut pas imaginer situation agricole plus médiocre que celle de la Corse. » Les champs n'occupent que 40 000 ha pour une superficie totale de 900 000. Les pacages se sont annexé tous les incultes et ont empiété sur la forêt de telle manière que, sur plus des deux tiers du territoire, on ne saurait distinguer « ni véritables pâtures, ni véritables forêts ». Aussi faut-il essayer de limiter leur débordement « pour établir un équilibre agro-sylvo-pastoral qui n'existe pas actuellement ».

1. A. Jeannin, L'enquête pastorale de 1949-1950 et la question pastorale en Corse, *Bulletin n° 3 de la Fédération française d'économie alpestre*, p. 45.



Fig. 1. — *Quelques terres à améliorer en Corse.*
(D'après A. Jeannin).

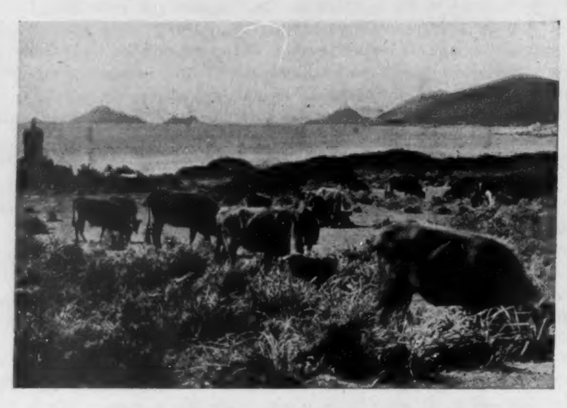


Fig. 2. — *En vue des Iles Sanguinaires, à 6 km d'Ajaccio.*
Pâturage « d'hiver » qui dure en réalité sept à huit mois, pendant lesquels les propriétaires des animaux séjournent à proximité, dans des demeures sommaires. Les vaches paissent l'herbe rase, au milieu des cistes et des asphodèles : la pelouse, difficile à améliorer à cause des pointements rocheux entravant le travail mécanique du sol, a une étendue restreinte ; les animaux, entièrement libres, montent chercher leur nourriture dans les maquis d'alentour. On voit à gauche le monument à la mémoire des Corses morts pour la France en 1914-1918.
(*Photo* A. Tomasi, Ajaccio).

*
* *

L'enquête, entreprise à cet effet, a porté, dans la partie montagneuse, sur un cinquième des communes de Corse, soit 330 000 ha, un tiers de la superficie de l'île. On n'a retenu que les communes présentant des exploitations pastorales d'été en haute montagne.

On ne s'étonnera pas que les résultats soient fonction de la manière dont l'enquête a été faite. Or, elle impose des réserves en raison de la difficulté d'apprécier les surfaces réelles et le nombre exact de têtes d'un bétail errant en liberté ; d'autre part, le cadastre et les statistiques ne concordent pas. Malgré ces imperfections, des conclusions très valables s'imposent sur les remèdes à apporter.

1. Développer la production fourragère (Luzerne, Lotier, Vesce, Dactyle...) sur tous les points où elle est possible et pas seulement sous forme d'amélioration pastorale en haute montagne... Pour établir les surfaces à

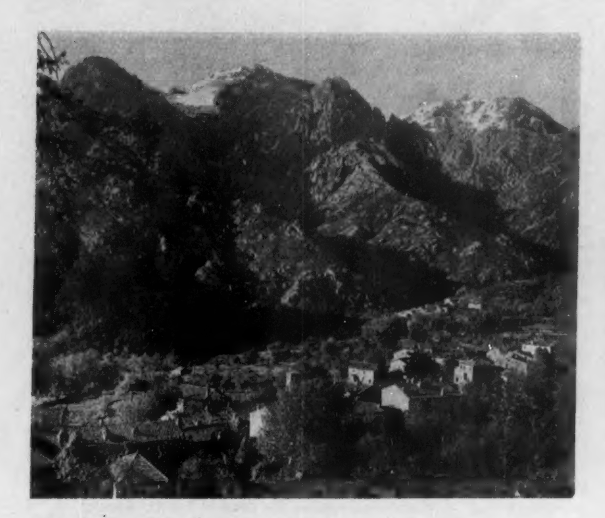
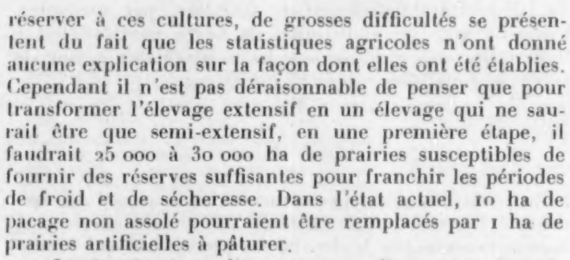


Fig. 3. — *Bocognano et la chaîne du Monte d'Oro.*
On est à 640 m d'altitude, dans la haute vallée de la Gravone, rivière qui alimente en eau Ajaccio et, de ce fait, ne peut arroser qu'un périmètre restreint de cultures. Le versant photographié est exposé au sud ; le rocher est à vif, les eaux y ruissellent sans pouvoir s'infiltrer. Type de secteur à protéger pour conserver le peu de terre et de végétation qui subsistent.
(*Photo* Miramont, Bastia).



Fig. 4. — *Pâturage de moutons à Lumio, près de Calvi.*
Dans la région côtière située à l'est de Calvi (communes de Lumio, Algajola, etc.) le bétail est en général gardé en permanence et souvent avec emploi de chiens ; c'est un peu une exception en Corse, d'autant qu'une partie de ce bétail reste sur place en été. Mais les pâturages auraient besoin d'être améliorés.
(*Photo* Miramont, Bastia).



réserver à ces cultures, de grosses difficultés se présentent du fait que les statistiques agricoles n'ont donné aucune explication sur la façon dont elles ont été établies. Cependant il n'est pas déraisonnable de penser que pour transformer l'élevage extensif en un élevage qui ne saurait être que semi-extensif, en une première étape, il faudrait 25 000 à 30 000 ha de prairies susceptibles de fournir des réserves suffisantes pour franchir les périodes de froid et de sécheresse. Dans l'état actuel, 10 ha de pacage non assolé pourraient être remplacés par 1 ha de prairies artificielles à pâturer.

2. Limiter les incendies pastoraux. Ils seront nécessaires tant que les cultures fourragères seront insuffisantes. Mais on doit les réglementer. Des projets ont été faits dans ce sens.

L'obstacle principal à vaincre réside dans le mode même de faire valoir. L'éleveur n'est généralement pas propriétaire de pacages. Il loue à la commune en montagne, au particulier en plaine. Ni le propriétaire ni le locataire ne veut assumer alors la charge des améliorations. Une réglementation comporterait d'ailleurs une police rurale bien plus importante, son insuffisance ayant déjà fait échouer des essais d'amélioration entrepris à 20 km d'Ajaccio. Notons qu'en raison des libertés excessives des éleveurs, toute parcelle fourragère devra être protégée par un réseau de fils de fer barbelés !

3. Développer les engrais organiques. Les engrais minéraux posent des problèmes de transport qui ne sont pas encore résolus. La matière organique peut,



Fig. 5. — *A la pointe du Cap Corse : le village d'Ersa et l'île de la Giraglia.*
Dans cette vallée à pentes douces, on n'aperçoit pas de cultures.
(*Photo* C. A. P.).



Fig. 6. — *Le village de Patrimonio et, à l'arrière-plan, le golfe de Saint-Florent.*
Région de vignobles particulièrement bien cultivée.
(*Photo* Miramont).



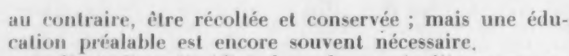

Fig. 7. — *Une « pozzine » au-dessus de Bastelica.*
Pâturage sur tourbière à 1 750 m d'altitude, à l'emplacement d'un ancien lac glaciaire colmaté ; les taches sombres sont des mares non encore fermées.
(Photo Conservation des Eaux et Forêts, Ajaccio).


Fig. 8. — *Sur le plateau d'Eze.*
Pâturage d'altitude (1 500 m environ) d'assez bonne qualité mais encombré de rochers, d'aunes verts, et accessible seulement par un sentier muletier
(Photo Conservation des Eaux et Forêts, Ajaccio).

au contraire, être récoltée et conservée ; mais une éducation préalable est encore souvent nécessaire.

4. Neutraliser l'acidité des sols, particulièrement par les calcaires broyés exploitables dans l'île et convenant mieux que le chaulage. Mais encore faudra-t-il les produire à des prix abordables.

5. Favoriser le parcage pour faire disparaître la lande installée sur les cultures abandonnées ou sur d'anciens emplacements de forêts détruites par les feux pastoraux ou défrichées. La charge recommandée est de 1 tête de petit bétail pour 2 m² pendant une nuit.

Trois organismes cherchent, pour la Corse, les solutions techniques ou financières et pourraient organiser l'expérimentation :

— Le Comité technique du plan de mise en valeur de la Corse, créé en 1948 ;

— Le Comité départemental agricole (de tous les départements) ;

— La Commission de modernisation, d'équipement et d'aménagement de la Corse, créé en 1952. Son rôle est prépondérant.

L'auteur du mémoire préconise en outre la création d'une ou plusieurs communes-pilotes (en simple application d'ailleurs de la circulaire ministérielle du 29 juillet 1952), avec un programme limité dans l'espace et utilisant « même sous une forme simplifiée, les méthodes de la cartographie parcellaire ». Il y aurait lieu de faire une étude préalable du stade actuel de la végétation. « C'est une étude complexe à faire, à cause des connaissances botaniques, phytosociologiques et surtout phytodynamiques qu'elle exige. » L'examen critique des statistiques agricoles fait en effet ressortir des rubriques impossibles à définir (jachère, lande, pâture, pacage, pâturage, maquis, bois et forêts) dont les chiffres varient évidemment avec les enquêteurs. L'auteur regrette que l'on ne puisse leur substituer encore un vocabulaire ayant un sens économique plus précis, basé sur l'évolution réelle du tapis végétal qui comporte des stades maintenant bien établis et faciles à discerner (stades postcultural, préforestier, forestier, par exemple). Faute de quoi les statistiques de Corse continueront à traîner une masse de 90 000 ha « ambulants » sous la rubrique illégitime « bois et forêts ».

*
* *

En réalité, tous ces problèmes ne sont hélas ! pas spéciaux à la Corse ; mais cette île diffère des autres pays méditerranéens par la densité du petit bétail qui a amenuisé les ressources naturelles sur presque toute la surface libre, hors des cultures sans réglementation et avec, surtout, une proportion imposante de caprins, grands destructeurs du ligneux ; car il y a *environ* 200 000 chèvres contre 273 000 ovins et 39 000 bovins, tous de petite taille, et 20 pour 100 des chèvres, soit 40 000, séjournent sur les pâturages considérés.

Aussi ne pouvons-nous qu'applaudir aux vœux de l'auteur du mémoire qui ne tendent à rien de moins qu'à substituer une statistique enfin qualitative aux statistiques quantitatives sur les inconvénients desquelles il ne reste plus rien à dire.

G. Kuhnholtz-Lordat,
Professeur honoraire à l'École nationale d'Agriculture de Montpellier.

A propos du fer de Fort-Gouraud

Un de nos abonnés, ingénieur du Corps des Mines à la Direction fédérale des Mines et de la Géologie de l'A. O. F., a bien voulu nous adresser quelques précisions et rectifications concernant le gisement de fer de Fort-Gouraud en Mauritanie (*La Nature*, n° 3224, décembre 1952, p. 382). En dehors des aérolithes, il n'existe pas, à la surface du globe, de fer à l'état natif. Les cailloux de la « Montagne de fer » de Fort-Gouraud sont constitués d'oligiste (Fe_2O_3) à peu près pur, contenant environ 70 pour 100 de fer. En outre, depuis l'époque où M. Lucien Berland accomplissait en Mauritanie sa mission (consacrée à l'entomologie), la question de l'exploitation du gisement avait notablement évolué : une société a été constituée, des projets précis ont été faits pour l'évacuation du minerai vers la mer. En ce qui concerne d'autre part le cuivre d'Akjoujt, une usine pilote est en construction. Quelques renseignements sur ces projets avaient d'ailleurs déjà paru dans *La Nature* (n° 3207, juillet 1952, p. 199).

LE CIEL EN MAI 1954

SOLEIL : du 1er au 31 sa déclinaison croît de + 15°0′ à + 21°53′ ; la durée du jour passe de 14^h31^m le 1er à 15^h47^m le 31 ; diamètre apparent le 1er = 31′47″,5, le 31 = 31′35″,8. — **LUNE :** Phases : N. L. le 2 à 20^h22^m, P. Q. le 9 à 18^h17^m, P. L. le 17 à 21^h47^m, D. Q. le 25 à 13^h49^m ; *apogée* le 15 à 2^h, diamètre app. 29′26″ ; *périgée* le 2 à 7^h, diamètre app. 33′24″, et le 30 à 13^h, diamètre app. 33′6″. Principales conjonctions : avec **Mercure** le 2 à 12^h, à 6°13′ S. ; avec **Vénus** le 4 à 13^h, à 2°36′ S. ; avec **Jupiter** le 5 à 20^h, à 1°54′ S. ; avec **Uranus** le 7 à 13^h, à 0°46′ N. ; avec **Neptune** le 15 à 10^h, à 7°16′ N. ; avec **Saturne** le 16 à 7^h à 7°53′ N. ; avec **Mars** le 21 à 9^h, 1°24′ S. Pas d'occultations remarquables. — **PLANÈTES : Mercure,** en conjonction supérieure avec le Soleil le 8, astre du soir dans la seconde partie du mois, se couche 1^h45^m après le Soleil le 25, en conjonction avec *Jupiter* le 31 à 19^h, *Mercure* à 2°14′ N. ; **Vénus,** éclatante étoile du soir, se couche 2^h28^m après le Soleil le 25, diamètre app. 11″8, en conjonction avec *Jupiter* le 23 à 12^h, *Vénus* à 1°30′ N. ; **Mars,** dans le *Sagittaire*, observable dans la seconde partie de la nuit, se lève le 25 à 22^h24^m, diam. app. 17″,4 ; **Jupiter,** dans le *Taureau*, visible le soir, se couche le 25 à 21^h44^m, diamètre pol. app. 30″,4 ; **Saturne,** dans la *Vierge*, visible presque toute la nuit, se couche le 25 à 3^h8^m, diamètre pol. app. 16″,8 ; anneau : gr. axe 41″,9, petit axe 12″,4 ; **Uranus,** dans les *Gémeaux*, observable le soir, se couche le 1er à 0^h39^m, position : 7^h25^m et + 22°30′, diamètre app. 3″,6 ; **Neptune,** dans la *Vierge*, observable une bonne partie de la nuit, se couche le 1er à 4^h17^m, position : 13^h33^m et — 7°47′, diamètre app. 2″,4. — **ÉTOILES FILANTES :** *Aquarides* du 1er au 13, radiant τ *Verseau* ; *Pégasides* le 30, radiant dans *Pégase*. — **ÉTOILES VARIABLES :** Minima observables de β *Lyre* (3^m,4-4^m,3) le 4 à 18^h, le 17 à 16^h,3, le 30 à 14^h,7 ; maxima : de R *Serpent* (5^m,6-13^m,8) le 15, de *T Grande Ourse* (5^m,5-13^m,5) le 29. — **ÉTOILE POLAIRE :** Passage inf. au méridien de Paris : le 1er à $23^h3^m47^s$, le 11 à $22^h24^m33^s$, le 21 à $21^h45^m22^s$, le 31 à $21^h6^m12^s$.

Phénomènes remarquables. — Les **étoiles filantes Aquarides,** maximum le 4, rapides, avec traînées (elles proviennent de la désintégration de la Comète de Halley). — La **lumière cendrée de la Lune,** le soir du 5 au 7. — La **conjonction de Vénus et de Jupiter,** à observer au couchant le 23. — La **conjonction de Mercure et de Jupiter** le 31.

(Heures données en **Temps universel** ; tenir compte des modifications introduites par l'heure légale).

G. Fournier.

LES LIVRES NOUVEAUX

Les moteurs électriques à puissance fractionnaire, par C. G. Veinott, traduit de l'américain par G. Soulier. 1 vol. 16×25, 538 p., 383 fig. Dunod, Paris, 1953. Prix : relié, 4 600 F.

Quotidiennement, un grand nombre de gens se servent d'un moteur électrique à puissance fractionnaire. Ce vocable technique désigne en effet les machines construites pour fournir une puissance inférieure à un cheval, en régime continu, de 1 700 à 1 800 tours par minute. Les moteurs de ventilateur, de machine à laver, de cireuse, de machine à coudre, de rasoir électrique entrent dans cette catégorie, c'est dire son importance pratique. Beaucoup de gens doivent donc connaître un matériel aussi répandu. Le manuel de M. Veinott est destiné à leur faciliter cette tâche ; suffisamment simple pour rester à portée du non-initié, il n'omet cependant aucun des détails qui peuvent être précieux au spécialiste. L'ouvrage commence par une analyse des renseignements fournis par la « plaque firme ». Suit un exposé de généralités sur le fonctionnement du moteur d'induction. Les différents types de moteurs sont alors passés en revue de façon détaillée. Dans chaque cas, les principes puis les problèmes de bobinage sont étudiés et des solutions sont envisagées pour les emplois spéciaux. Un chapitre est consacré aux ensembles de téléindication et de télécommande. Les détails de construction communs à différents types de moteurs (roulements et coussinets, interrupteurs de démarrage, protections thermiques, réducteurs) sont rassemblés dans un même exposé. Le dernier chapitre guide l'utilisateur qui a besoin d'un moteur pour un travail déterminé, et lui indique les détails sur lesquels il doit attirer l'attention du constructeur.

Calcul des électroaimants industriels, par A. Jung. 1 vol. 14×22, 100 p., 22 fig. Dunod, Paris, 1953. Prix : broché, 880 F.

Réaliser un électroaimant adapté à un emploi donné est un des problèmes les plus courants de l'électrotechnique. L'auteur a rassemblé sur ce sujet une documentation jusque-là éparse dans les revues et les formulaires. Les principes indispensables et l'exposé des méthodes générales de calcul sont groupés au début de l'ouvrage qui se divise alors en deux grandes parties : électroaimants à courant continu et électroaimants à courant alternatif. De nombreux exemples de calculs pratiques terminent l'exposé. Cet ouvrage intéressera non seulement les bureaux d'études, mais aussi tous ceux qui ont l'occasion de fabriquer, de réparer ou de modifier des électroaimants.

Histoire de la Physique, par Max von Laue. 1 vol. 11,5×17,5, 199 p. Lamarre, Paris, 1953. Prix : cartonné, 450 F.

C'est l'histoire de la gestation des connaissances et des idées, conçue sous une incidence moderne et condensée en peu de pages. L'auteur, Prix Nobel, est un des artisans du prodigieux développement de la Physique moderne ; il s'est attaché surtout aux cent dernières années et au développement des conceptions actuelles. M. Maurice de Broglie a préfacé cet exposé.

Histoire de la Chimie, par P. Walden. 1 vol. 11,5×17,5, 128 p. Lamarre, Paris, 1953. Prix : cartonné, 450 F.

Cette histoire de la chimie, l'œuvre d'un savant allemand de réputation mondiale, a été traduite et présentée par le professeur Eugène Darmois. Il fait revivre les hommes qui, de Thalès au Moyen Age, puis des alchimistes à Lavoisier, ont permis aux savants du XIXe et du XXe siècles de construire pierre par pierre l'extraordinaire édifice de la chimie moderne. Cette histoire laisse pressentir un avenir encore plus riche.

Le matérialisme rationnel, par Gaston Bachelard. 1 vol. 14×23, 225 p. Presses Universitaires de France, Paris, 1953. Prix : 700 F.

Le professeur d'histoire des sciences à la Sorbonne poursuit son effort pour dégager la signification philosophique de la science moderne. La philosophie traditionnelle prend ses notions de base dans l'expérience immédiate ; elle pense en catégories qui sont celles du sens commun (objet, espace, substance, qualité...), concepts qu'elle croit pouvoir définir une fois pour toutes ; on pense par images et cette philosophie rêveuse aboutit à un matérialisme naïf auquel l'auteur oppose le matérialisme « instruit », « ordonné », de la science, pour laquelle le vrai réalisme, le vrai rationalisme sont *terminaux*, aucune notion de base ne pouvant être donnée au départ. Les matériaux intellectuels avec lesquels se construit la science sont eux-mêmes construits, acquis peu à peu et péniblement, et sont constamment soumis à des retouches. Comment se fait cette construction, c'est ce que ce livre explique, en prenant pour exemples les développements de la chimie. Les philosophes, auxquels les coups d'épingle ne sont pas épargnés, sont invités à venir voir du dedans pourquoi la science ne se soucie pas de répondre à des questions qu'elle juge naïves.

Les conquêtes de la pensée scientifique, par G. Cahen. 1 vol. 13×21, 290 p. Collection « Les heures scientifiques », Dunod, Paris, 1953. Prix : 880 F.

Revue claire et bien équilibrée des principales idées de la Physique contemporaine, de leur genèse et de leurs conséquences théoriques. L'auteur ne se contente pas des comparaisons faciles auxquelles trop de vulgarisateurs nous ont habitués, sacrifiant l'exactitude à une illusion de simplicité. Il ne pense pas pouvoir traiter de la Relativité sans évoquer la notion de tenseur, ni se dispenser de parler d'opérateur pour exposer les grandes lignes de la Mécanique ondulatoire. Les lecteurs qui auront fait l'effort nécessaire auront du moins mieux qu'un parfum de la science nouvelle. Devenant de plus en plus abstraites, les descriptions que l'on fait du réel s'éloignent de plus en plus des notions qui nous semblent les plus naturelles. La notion de structure tend à éliminer celle d'objet. Le physicien est disposé à accepter toute forme de représentation, même la plus éloignée du sens commun, pourvu qu'elle cadre avec l'expérience et qu'elle fasse la plus grande économie possible de concepts. L'auteur se débarrasse toutefois un peu vite de la question du déterminisme ; il ne tient pas compte du fait que la Relativité est restée déterministe ni des critiques adressées par Einstein à la Mécanique quantique. M. G. Cahen, dont il faut louer la culture littéraire, cite Valéry qui dit que « l'affaire s'arrangera ». Mais elle n'est pas encore arrangée !

La pensée artificielle, par Pierre de Latil. 1 vol. 13×20, 332 p. Gallimard, Paris, 1953.

La machine moderne est dotée d'une modalité d'action très rare dans les anciennes machines (moins rare toutefois que ne le dit l'auteur),

modalité que les anglo-saxons appellent feed-back, que M. de Latil traduit par rétro-action. Analysant les différents types de réalisations, il distingue de la rétro-action l'inter-action où ce n'est plus l'effet final qui réagit sur l'un des facteurs de l'action (comme dans le régulateur de Watt), mais un facteur qui réagit sur un autre ou sur lui-même. De cette analyse, il dégage une « logique des effets » qui, à vrai dire, est bien loin d'avoir la rigueur exigée d'une logique. Il s'émerveille de trouver la rétro-action très répandue dans la nature, où il en fait la caractéristique de l' « organisation », par opposition à la simple détermination et au hasard. Examinant les systèmes de plus en plus indépendants des variations extérieures, il y voit une hiérarchie vers la liberté et la finalité, et il nourrit l'illusion de résoudre de vieilles querelles philosophiques. L'intelligence n'aurait d'autre processus que la rétro-action. Un livre plein de vues ingénieuses, de rapprochements qui font réfléchir, mais non sans jugements sommaires ni quelque présomption.

Au cœur de la Terre, par Pierre Rousseau. 1 vol. 12×19, 219 p., 53 fig., 12 photos hors texte. Hachette, Paris, 1953. Prix : 600 F.

Après un rappel des principaux phénomènes géologiques superficiels qui ont sculpté la face du globe, l'auteur, avec sa verve habituelle mais aussi sa sérieuse information, initie son lecteur aux diverses sciences qui permettent d'imaginer de quoi sont faites les profondeurs du globe et quels sont les phénomènes qui s'y déroulent : comment s'expliquent les anomalies de la pesanteur ; quelles sont les forces qui ont produit la surrection des montagnes du sein des géosynclinaux ; hypothèse de Wegener et celle, plus récente, des mouvements internes dans le sima ; zones de discontinuité à grandes profondeurs révélées par la sismologie ; récentes hypothèses sur l'état physique et chimique de ces régions où, selon toute apparence, aucun instrument humain n'aura jamais accès ; enfin problème de l'origine de la Terre.

Le tapis végétal dans ses rapports avec les phénomènes actuels de surface en Basse-Provence (de Cassis à Bandol), par G. Kuhnholz-Lordat. 1 vol. 16×25, 208 p., 19 dessins, 9 photos, 22 tableaux. Paul Lechevalier, Paris, 1952. Prix : 3 500 F.

Au moment où les économistes s'interrogent sur l'avenir de l'alimentation humaine, il est de plus en plus nécessaire d'étudier scientifiquement l'évolution des sols et de la végétation qui, dans les conditions actuelles, en bien des points, se fait vers la désertification. Tel est le cas dans cette portion de la Provence étudiée avec un soin minutieux par le professeur à l'École d'agriculture de Montpellier. L'évolution naturelle se ferait vers le « climax », sous la dominance du chêne, mais l'intervention de l'homme, incendies volontaires, pacage excessif, détermine une évolution régressive. De ce travail qui est un modèle ressortent bien des enseignements : importance des considérations géographiques pour l'étude des peuplements ; conclusions pratiques pour l'agronomie des pays méditerranéens. Les principes de base et les notions générales sont ici très clairement posés ; ne s'adressant pas à des spécialistes de l'Écologie, l'auteur s'exprime dans un langage aussi simple que possible qui le rend lisible par tous ceux, botanistes, agronomes, géographes, économistes, ou simples particuliers, qui ont à méditer un tel enseignement.

Lehrbuch der allgemeinen Botanik, par A. Ullrich et A. Arnold. Tome I, Morphologie, Anatomie und Vererbungslehre. 427 p., 570 fig. Walter de Gruyter et Cᵉ, Berlin, 1953. Prix : relié, 28,50 marks.

Cet ouvrage fait le point des connaissances acquises en botanique jusqu'à sa parution : les théories encore trop discutées en sont écartées au profit de l'exposé des faits observés ou suffisamment admis. Le chapitre d'anatomie et l'analyse des phénomènes de reproduction méritent d'être signalés à l'attention des étudiants, tant pour leur contenu que pour la façon dont ils sont rédigés. On regrettera peut-être que la cytologie bien qu'il y soit fait état de découvertes très récentes, n'ait pas été développée à l'égal des sections précédemment citées. Il faut insister sur la valeur des nombreuses illustrations, souvent originales ; elles possèdent surtout le privilège d'être parfaitement suggestives, assez facilement reproductibles en général, sans résulter toutefois d'une schématisation trop conventionnelle. En bref, un manuel précis, clair, dont toutes les qualités convergent pour faire un ouvrage véritablement pédagogique au service de ceux qui recherchent des bases sérieuses pour l'étude de la botanique.

Les techniques de culture des arachides en Afrique occidentale. 1 vol. in-8°, 65 p., 3 cartes. O.E.C.E., Paris, 1953. Prix : 280 F.

L'Organisation européenne de coopération économique a envoyé une mission d'experts étudier cette culture et formuler des recommandations pour l'améliorer. Voici son rapport très clair et complet, où sont indiquées toutes les mesures applicables : régime foncier, méthodes de culture, engrais, bétail de travail et mécanisation, cultures associées et vivrières, maladies, sélection de variétés résistantes.

Bois tropicaux. 1 vol. in-8°, 70 p. O.E.C.E., Paris, 1953. Prix : 220 F.

La même O.E.C.E. a fait examiner par un autre groupe d'experts les perspectives de production et de consommation des bois tropicaux : essences tropicales pouvant être exploitées, prix de revient comparés à ceux des bois des régions tempérées, statistiques commerciales actuelles, utilisations possibles.

Assainissement agricole et drainage, par M. Poirée et C. Ollier. 1 vol. in-8°, 243 p., 98 fig., 4 pl. Eyrolles, Paris, 1953. Prix : 1 600 F.

Ce cours professé à l'École spéciale des Travaux publics, à l'usage des apprentis géomètres comprend deux parties : une théorique sur les propriétés physiques des sols et le cycle de l'eau, puis une pratique sur l'assainissement et le drainage allant jusqu'à l'établissement d'un projet complet et à l'exécution des travaux. C'est un bon manuel technique pouvant aussi servir à l'enseignement par correspondance.

A physiological approach to the lower animals, par J. A. Ramsay. 1 vol. in-8°, 148 p., 46 fig. Cambridge University Press, Londres, 1952. Prix : relié, 15 shillings.

Le monde animal est si divers dans ses formes et ses mécanismes qu'un des grands problèmes de l'enseignement est de savoir comment le présenter. Faut-il partir de l'homme, le mieux connu, pour arriver au protozoaire ou suivre la voie inverse ? Faut-il séparer la morphologie, la physiologie, la biochimie ? Voici un petit livre, fruit de leçons faites à Cambridge à de jeunes étudiants, fort heureux dans son plan et agréable à lire. L'auteur y traite des grandes fonctions : nutrition, circulation, respiration, excrétion, sensations et mouvements, coordination et comportement, dont il indique les multiples aspects dans le règne animal. Ce n'est ni un perfectionnement, ni une évolution continus, mais bien des mécanismes très divers et tous efficaces.

Morphologie et physiologie animales, par Georges Bresse. 1 vol. 16 × 24, 854 p., 631 fig. Larousse, Paris, 1953. Prix : 3 800 F.

Le chef du Service de muséologie de notre Muséum national, qui a longtemps enseigné les sciences naturelles dans la classe de préparation à l'Institut agronomique, nous donne un manuel qui sera aussi précieux aux naturalistes qu'aux étudiants. Il paraît redouter qu'on lui reproche d'avoir donné une trop grande place au système nerveux ; ce serait un reproche bien mal fondé car le système nerveux, qui intervient dans toutes les fonctions animales et leur coordination, est sans doute ce qui distingue le mieux les animaux des végétaux, et l'auteur a précisément remédié à une insuffisance habituelle des manuels de Zoologie et de Biologie animale. Il s'en faut de beaucoup que le fonctionnement du système nerveux soit connu dans ses détails ; entre les théories diverses, un choix a été fait, avec prudence, retenant ce qui est le plus clair et en accord avec le plus grand nombre de faits actuellement établis. Dans ce domaine de la physiologie comme dans tous les autres, il reste beaucoup à découvrir, la science est toujours en train de se faire. En exposant la science faite, et en sacrifiant à une part de dogmatisme inévitable, un bon ouvrage didactique ne doit pas le laisser oublier ; c'est une des qualités de ce manuel, excellent par le texte comme par l'illustration.

A l'étude des Oiseaux, par Stuart Smith. 1 vol. 13×19, 235 p., 25 fig. et photos Stock, Paris, 1953. Prix : 630 F.

Dans cette même collection des « Livres de nature » où Jacques Delamain nous a jadis révélé sa science gracieuse, voici un ouvrage moins empreint de poésie peut-être, mais qui fournit des renseignements plus précis sur les méthodes d'observation. Après quelques chapitres sur la vie et les mœurs, prise de possession du territoire, noces, ponte et divers aspects du comportement, l'auteur aborde quelques questions de physiologie. C'est la vue qui joue le rôle essentiel dans la vie des oiseaux ; aussi ce sujet est-il traité avec plus de détail. Après l'étude du vol et d'excellents conseils pour l'observation, on s'interroge sur l'esprit de l'oiseau et on conclut que la pensée et la raison n'interviennent que fort peu dans la résolution des problèmes qu'il a à se poser.

PETITES ANNONCES

(165 F la ligne, taxes comprises. Supplément de 100 F pour domiciliation aux bureaux de la revue).

Le gérant : F. Dunod. — DUNOD, ÉDITEUR, PARIS. — DÉPÔT LÉGAL : 2ᵉ TRIMESTRE 1954, Nº 2596. — Imprimé en France.
BARNÉOUD FRÈRES ET Cᶦᵉ, IMPRIMEURS (310566), LAVAL, Nº 2930. — 4-1954.

Le gérant : F. Dunod. — DUNOD, ÉDITEUR, PARIS. — DÉPÔT LÉGAL : 2e TRIMESTRE 1954, N° 2596. — IMPRIMÉ EN FRANCE.
BARNÉOUD FRÈRES ET Cie, IMPRIMEURS (310566), LAVAL, N° 2930. — 4-1954.